

Evaluación del impacto del riego con aguas regeneradas en el agrosistema “jable” de la isla de Lanzarote

Evaluation of the impact of irrigation with reclaimed water in the "jable" agrosystem on the island of Lanzarote

Trabajo de Fin de Grado

Samuel Falcón Pulido

Tutorizado por María Luisa Tejedor Salguero y Carmen Concepción Jiménez
Mendoza. Grado en Biología. Junio 2019

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	1
1.Introducción.....	2
1.1 Medio físico de la isla de Lanzarote.....	2
1.2 El jable de Lanzarote	4
1.3 El agua en Lanzarote	6
1.4 Cultivos de Lanzarote	8
2. Objetivos	9
3. Material y Métodos	10
3.1 Selección del área de estudio y muestreo de suelos	10
3.2 Sistema de riego y evaluación de la calidad del agua de riego	11
3.3 Manejo y producción.....	12
3.4 Métodos de análisis de suelos	12
3.5 Análisis estadístico.....	13
4. Resultados y discusión.....	14
4.1 Análisis de los suelos e impacto del riego	14
4.1.1 pH.....	15
4.1.2 Conductividad eléctrica	16
4.1.3 Cationes cambiabales (Mg, Ca y Na).....	16
4.1.4 RAS y Porcentaje de sodio intercambiable calculado a partir del RAS.....	18
4.1.5 Carbonatos	19
4.1.6 Carbono orgánico y Nitrógeno	20
4.1.7 Micronutrientes	21
4.1.8 Boro	23
4.1.9 Fósforo asimilable.....	24
4.2 Comparación con otros estudios	25
5. Conclusiones	26
Conclusions	26
7. Agradecimientos	
8. Bibliografía	27

Resumen

Lanzarote es una de las zonas más áridas de la UE, con escasos recursos hídricos naturales. En esta isla hasta que no hubo disponibilidad de recursos no convencionales (aguas desalinizadas y regeneradas), hecho que se ha producido en los últimos años, la agricultura fue exclusivamente de secano, basada en agrosistemas tradicionales. En este trabajo de fin de grado se estudia el impacto del cambio de manejo de secano a regadío en uno de estos agrosistemas, conocido como jable, basado en la presencia de una capa natural de arenas eólicas marinas en la superficie del suelo que actúa como mulch. Se han seleccionado seis parcelas con cultivo de batata, tres en secano y tres con riego por goteo con agua regenerada, para su comparación. Los resultados obtenidos muestran que se ha producido una cierta degradación del suelo a corto plazo. Este agrosistema tradicional constituye además un paisaje singular de la isla de Lanzarote, su revalorización como parte integrante del territorio y como legado cultural es indiscutible, por lo que su manejo debe realizarse en las mejores condiciones para las generaciones futuras sin comprometer la calidad de los suelos, de modo que su uso sea sostenible.

Palabras clave: Lanzarote, agua regenerada, secano, riego, jable.

Abstract

Lanzarote is one of the most arid areas of the EU, with scarce natural water resources. On this island until there was no availability of unconventional resources (desalinated and reclaimed waters), a fact that has occurred in recent years, agriculture was exclusively rainfed, based on traditional agrosystems. In this final project, we studied the impact of the change from rainfed to irrigated management in one of these agrosystems, known as jable, based on the presence of a natural layer of marine aeolian sands on the surface of the soil that acts as a mulch. Six plots cultivated with sweet potato were selected, three in dry land and three with drip irrigation with reclaimed water, for comparison. The results obtained show that there has been some degradation of the soil in the short term. This traditional agrosystem is also a unique landscape of the island of Lanzarote, its revaluation as an integral part of the territory and as a cultural legacy is indisputable, so its management must be carried out in the best conditions for future generations without compromising the quality of the soil, so that its use is sustainable.

Keywords: Lanzarote, reclaimed water, dry farming, irrigation, jable.

Introducción



1.Introducción

Desde la llegada de los primeros pobladores de las islas Canarias en el siglo X a.C. por parte de los bereberes del norte de África¹, las comunidades aborígenes han estado formadas principalmente por agricultores y ganaderos que vivían del laboreo de la tierra y del manejo de sus animales, aunque ocasionalmente también comerciaban con algunos pueblos extranjeros, como los romanos.

Este modo de vida cambió cuando, durante el siglo XV, se llevó a cabo la conquista de las islas por parte de los normandos y de la Corona de Castilla. Desde ese momento, las islas sufrirían una serie de cambios a lo largo de los siglos debido a la ocupación de las medianías, para la utilización de los suelos en la agricultura, y posteriormente de las zonas costeras, para fines turísticos.

A pesar de estos cambios, en Canarias siempre se mantuvo la actividad agrícola, aunque de distinta manera en las diferentes islas. Durante los últimos siglos han sido muy comunes los monocultivos de plátano, tomate, millo, caña de azúcar, etc., aunque no en todas las islas se ha cultivado de la misma forma.

En las islas orientales, principalmente en Lanzarote, la baja altitud impide la captación de la humedad que portan los vientos alisios y como consecuencia se da un clima más árido que ha llevado a los habitantes de estas islas a cultivar diferentes especies y a emplear prácticas agrícolas que permitan un mejor aprovechamiento del agua.

1.1 Medio físico de la isla de Lanzarote

La isla de Lanzarote, en la que se centra este trabajo, es la más oriental y septentrional del archipiélago canario, tiene una extensión de 845,9 km² y presenta una altitud muy baja, encontrándose la máxima altura en la Atalaya de Femés en el sur (808 msnm). Presenta mayor actividad agrícola que Fuerteventura, probablemente debido a factores sociales y socioeconómicos.

El clima se caracteriza primordialmente por su aridez y de entre los factores que condicionan las características climáticas (dinámica atmosférica de la región, proximidad al continente africano, orientación, corriente marina fría de Canarias, influencia de los vientos

alisios, etc.), el más importante es la escasa altitud, que impide que los vientos alisios descarguen su humedad y condiciona en gran medida la aridez del clima.

La media de precipitación anual en Lanzarote es de 150 mm, no superando en ningún caso los 300 mm. La variabilidad interanual de la pluviometría es muy elevada y la distribución de las lluvias tiene un carácter marcadamente estacional, produciéndose la mayoría de las lluvias entre los meses de noviembre a marzo, además, la intensidad de las lluvias también es muy variable. Esta variabilidad es importante ya que implica un importante número de años y de meses en los que hay déficit hídrico en el suelo. Estas condiciones han llevado a los conejeros a la utilización de agrosistemas tradicionales como el del jable (cubierta natural de arenas eólicas marinas), en el cual está centrado este trabajo, que permite un aprovechamiento máximo de las escasas precipitaciones al mejorar la capacidad de infiltración del agua en el suelo y al reducir las pérdidas por evaporación.

La temperatura media de la isla se encuentra en torno a los 20°C, aunque existen variaciones que se deben a la orientación y a la altitud de las distintas zonas. En invierno las temperaturas alcanzan mínimos de 7°C y en verano máximos de 48°C, coincidiendo con los episodios de tiempo sur (invasiones de aire sahariano). La magnitud de las variaciones térmicas y las temperaturas extremas tienen una influencia directa en la temperatura del suelo y un efecto negativo en el desarrollo de las plantas, por esta razón se necesita utilizar sistemas agrícolas que reduzcan estas oscilaciones, como los jables.

Los vientos son un factor climático que está presente durante casi todo el año debido, por una parte, a que los vientos alisios no encuentran obstáculos orográficos a su paso, y por otra, a las brisas marinas que se generan debido al contraste térmico entre las zonas del interior, recalentadas durante el día, y la costa con temperaturas más bajas de lo normal debido a la presencia de una corriente oceánica fría. Estos vientos han obligado a los agricultores a utilizar cortavientos, vivos o inertes, para proteger los cultivos.

La poca nubosidad en la isla a lo largo del año da lugar a que esta tenga un número elevado de horas diarias de sol, siendo el valor medio del año de 7,8 h diarias. La elevada insolación junto a la presencia casi constante de vientos hace que la tasa de evapotranspiración en esta isla sea muy alta, lo que condiciona el crecimiento de los cultivos ya que produce la rápida evaporación del agua de lluvia, que además es escasa, y con ella la acumulación de sales en el suelo.

Los suelos de la isla presentan características específicas y generales a todos ellos como un bajo contenido en materia orgánica y baja actividad biológica, reacción alcalina, texturas superficiales arenosas, acumulación de sales solubles, horizontes de acumulación de carbonatos, etc. Los suelos presentes en la zona de estudio son, según la Soil Taxonomy², Entisoles Psamments, concretamente Torripsamments ya que tienen un régimen de humedad arídico, y según la WRB³, (Aridic) (Calcaric) Arenosols⁴. Sin embargo, hay que considerar que la mayor conservación de agua en estos agrosistemas puede modificar su régimen hídrico, y por ende su clasificación, como se ha observado en el agrosistema de los arenados donde los Aridisoles pasan a ser Inceptisoles⁵.

1.2 El jable de Lanzarote

El principal factor que ha limitado la agricultura en la isla es la escasez de recursos hídricos, limitación que se ha podido eludir de manera tradicional gracias a prácticas agrícolas originales en Lanzarote, como el agrosistema jable.

Desde finales del Mioceno tiene lugar en Lanzarote un intenso proceso de eolización que se extiende prácticamente hasta la actualidad, donde los depósitos de arenas eólicas forman campos de arenas. A este campo se le conoce como el Jable.

En general, los depósitos están formados por arenas eólicas de color claro de naturaleza calcárea y granulometría fina. El Jable es una franja de 21 km de largo que arranca desde la costa de Famara y ocupa una superficie de 90 km², cubierto por arenas eólicas. Su anchura es variable, desde los 10 km en la costa norte, hasta los 4 km de la zona sur. El viento predominante en la zona es de componente NNE durante casi todo el año, y es el que controla la distribución de las arenas⁶. Los suelos cubiertos por las arenas en la zona del Jable son utilizados por los agricultores de la isla, ya que, a pesar de los procesos de degradación que afectan a los suelos

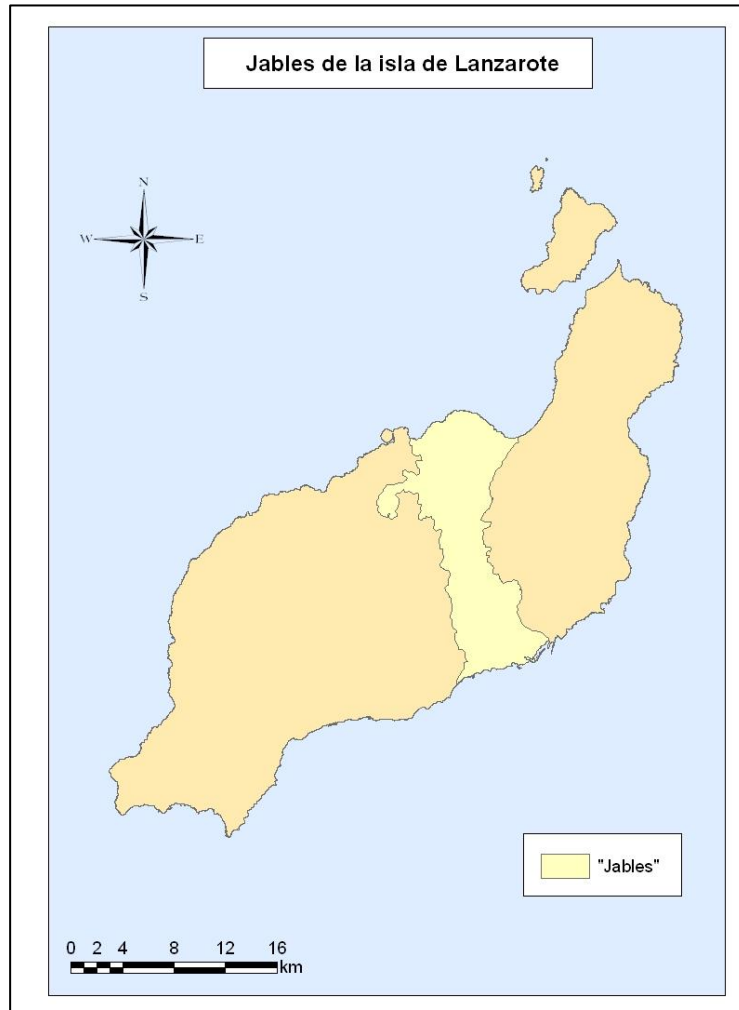


Imagen 1. Distribución de la zona de “El Jable” en la isla de Lanzarote. Fuente: Grupo de investigación de Recursos de Suelos y Aguas.

de Lanzarote, esta isla todavía presenta un elevado potencial agrícola (Imagen 1). El jable es un sistema agrícola tradicional típico de la isla de Lanzarote basado en el uso de las arenas eólicas marinas comentadas anteriormente, que actúan como mulch (ruptura de la difusión capilar permitiendo de esta manera la conservación del agua en el suelo). Estas se acumulan en capas de diferente espesor, superior a dos metros en las proximidades de la playa y en las zonas deprimidas del interior, y entre veinte centímetros y un metro en el resto, teniendo únicamente uso agrícola cuando su espesor es inferior a un metro.

El cultivo fundamental es la batata, la propagación se realiza por esquejes que se obtienen de la parte terminal del tallo, de ramas vigorosas de 30-35 cm y que contengan aproximadamente 3 o 4 yemas. El procedimiento general que realiza el agricultor para plantar en este agrosistema consiste en hacer un hoyo en la arena hasta llegar al suelo, añadir una pequeña cantidad de abono y tapar realizando un pequeño montículo de unos 50 cm, para luego,

a mitad de altura, introducir un esqueje dejando unos 10 cm al descubierto. Es muy importante la protección del cultivo frente al viento, utilizándose cortavientos tanto vivos como inertes⁴.

Es un sistema bien estudiado en seco, influye en la conservación de la humedad del suelo, protegiendo frente a la erosión, ralentizando las pérdidas por evaporación y favoreciendo la infiltración de las escasas lluvias, además de amortiguar la temperatura de éste. La superficie de cultivo en jable es del orden de 5428 ha, con un importante grado de abandono. En la actualidad hay unas 102 ha regadas con agua regenerada.

En otras partes del mundo también existen agrosistemas que se basan en la utilización de arenas. En China, por ejemplo, se utilizan desde hace 300 años los llamados *Shatian*, una mezcla de gravilla y arena que permite retener la poca agua de lluvia disponible en el Noroeste de China y reducir la erosión de los suelos. Los campos de *Shatian* se pueden encontrar en las provincias de Gansu y Qinghai y en la región autónoma de Ningxia Hui. Estos mulch mixtos permiten modificar algunas características de interés del suelo, entre ellas aumentar la temperatura y la humedad, y evitar la evaporación y la erosión eólica de los suelos⁷.

1.3 El agua en Lanzarote

El principal recurso hídrico natural de Lanzarote es el agua subterránea que está asociada a los materiales basálticos antiguos de la Serie I. La explotación de estas aguas se realiza mediante manantiales, galerías y pozos, que no suman entre los tres más de 0,25 hm³ de agua al año. Además, la mayoría de estas aguas subterráneas son salinas, cloruradas sódicas, lo que supone un problema ya que producen la salinización de los suelos y solo permite el cultivo de plantas resistentes a las sales.

La escasez de recursos hídricos, no siempre de buena calidad, y la creciente demanda de agua ha llevado a la utilización de métodos de desalinización y potabilización de agua de mar y subterránea, por lo que la mayoría del agua consumida proviene de estas fuentes. El agua regenerada que es utilizada en la isla para fines agrícolas se obtiene tras un tratamiento terciario (microfiltración y cloración), mientras que la desalinizada recibe un tratamiento por ósmosis inversa⁴.

La distribución y el tratamiento de las aguas en Lanzarote (y en La Graciosa) son llevados a cabo por la empresa Canal Gestión, que cuenta para la depuración con cinco plantas de reutilización, ocho depuradoras (EDAR) y una red de aguas regeneradas de 508 km, produciendo 3,33 hm³ de agua regenerada al año (Imagen 2).

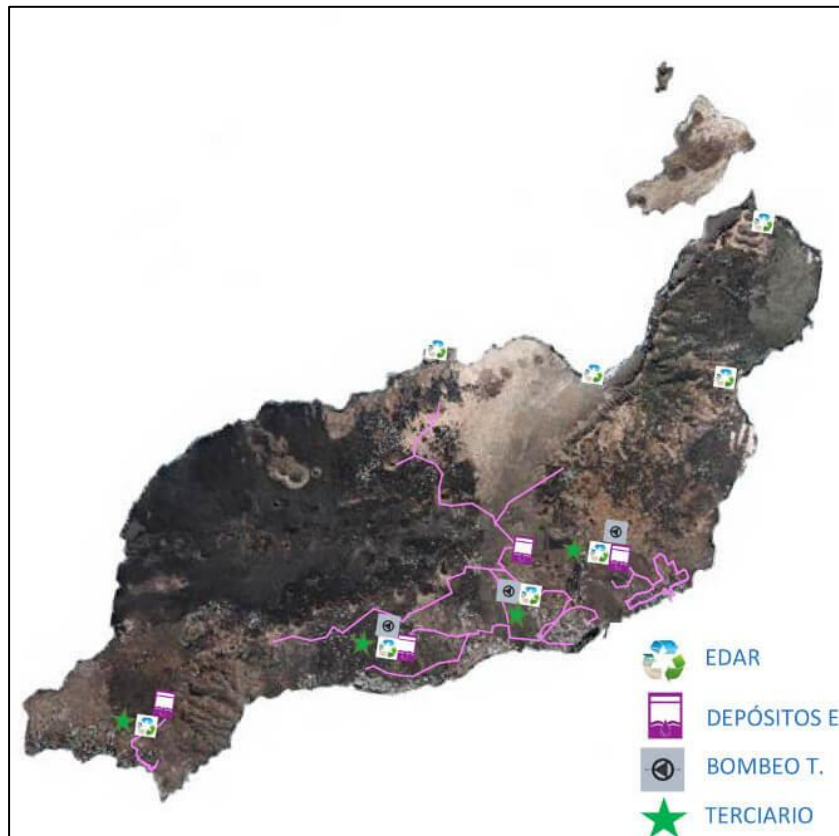


Imagen 2. Red de distribución de aguas regeneradas en la isla de Lanzarote. Fuente: Canal Gestión.

Para la desalación cuenta con cuatro puntos de captación desde donde el agua de mar se envía a las cuatro plantas desaladoras de ósmosis inversa que producen anualmente 25,5 hm³, repartidas en dos centros de producción. La empresa tiene una capacidad anual para captar 73 hm³ de agua de mar, aunque la capacidad máxima de producción anual de agua desalada está actualmente en unos 33 hm³. La red de distribución del agua desalada cuenta con un total de 1.875 km de tuberías, y en general, esta empresa permite el abastecimiento hídrico de la isla tanto de agua potable como de agua de riego⁸.

Si bien hay numerosos artículos que tratan el efecto del riego con aguas regeneradas en suelos de arenados⁹, es más complicado encontrarlos en suelo bajo jable. Esta es la principal finalidad de nuestro trabajo, realizar un estudio sobre el impacto que produce el uso de aguas regeneradas para el riego en los suelos del agrosistema jable.

1.4 Cultivos de Lanzarote

En Lanzarote se llevan a cabo varios tipos de cultivos, entre ellos podemos encontrar aloe, arvejas, batatas, calabacín, calabaza, cebolla, garbanzos, viña, etc¹⁰. La agricultura en esta isla ha sido típicamente en seco.

En los últimos años, gracias a la implantación de plantas desalinizadoras y potabilizadoras, y a la regeneración de aguas depuradas, han aumentado los recursos hídricos de la isla, por lo que se han podido cultivar especies que requieren mayor cantidad de agua. También se han podido implantar técnicas como la del riego por goteo, en la que el agricultor, gracias a un sistema de tuberías y goteros, riega directamente la zona de influencia de las raíces, permitiendo de esta manera utilizar poca agua y aprovecharla al máximo, aunque esta técnica, si el manejo no es adecuado, puede conducir a problemas de acumulación de sales en los suelos.

La zona del Jable ha sido utilizada por los habitantes de Lanzarote durante siglos para cultivar distintas especies, pero el cultivo más frecuente es el de la batata (*Ipomoea batatas* L.), muy apreciado en el resto de las islas y por el Reino Unido, su tradicional mercado de exportación. Otros cultivos más recientes que se realizan en el Jable son melones, sandías, papas y otras hortalizas.

Las variedades de batatas que se cultivan actualmente en la isla son: la cubana, yema de huevo, la de seis meses y la del año. Esta especie se siembra en el agrosistema jable desde marzo hasta junio y se recolecta de julio a diciembre, dejando los meses de enero y febrero libres¹⁰.

La batata es un cultivo semitolerante a la salinidad, que se adapta bien al clima árido de Lanzarote debido a su porte rastrero y resistente a la sequía. Gracias a los recursos hídricos disponibles actualmente también se está llevando a cabo el cultivo de batata en jable con suministro de agua mediante riego por goteo.

Objetivos



2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es estudiar la influencia del cambio de manejo de secano a regadío con aguas regeneradas en la calidad de los suelos del agrosistema jable, con cultivo de batatas, de cara a su sostenibilidad. Para ello se evaluará la calidad de las aguas regeneradas y de los suelos de parcelas con cultivo de batata en secano y con riego por goteo, y se caracterizarán distintos parámetros químicos del suelo.

Para llevar a cabo este trabajo se realizarán los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluación de la calidad del agua de riego
2. Evaluación de las propiedades de los suelos
3. Análisis del impacto en las principales propiedades del suelo del cambio de manejo de secano a regadío.

Material y Métodos



3. Material y Métodos

3.1 Selección del área de estudio y muestreo de suelos

El estudio se llevó a cabo en la zona del Jable, concretamente en el municipio de Tegüise. Con el apoyo del Servicio Insular Agrario del Cabildo de Lanzarote, se seleccionaron seis fincas en las que se cultiva batata, tres de ellas regadas por goteo con agua regenerada y tres adyacentes en secano para su comparación (Tabla 1 y Figura 3).

Finca	Coordenadas UTM	Superficie (m ²)	Riego	Nº de años de riego	Espesor de la capa de arena (cm)
1	28R 0638138 3211211	37.000	Si	7	38-43
2	28R 0637935 3210834	10.000	Si	4	31-66
3	28R 0638327 3210360	10.000	No	-	37-54
4	28R 0638232 3209803	10.000	No	-	52-63
5	28R 0637892 3209689	10.000	No	-	34-44
6	28R 0687921 3209230	17.800	Si	6	29-45

Tabla 1. Relación de fincas, coordenadas UTM, superficie, manejo y espesor de la capa de arena. En el caso de los cultivos con riego por goteo, se indica además el número de años que estos llevan siendo regados con esta técnica.

El muestreo consistió en realizar hoyos para apartar la capa superficial de arena que actuaba como mulch hasta llegar al suelo o “madre”, como lo llaman los agricultores. Una vez llegados a este punto, con la ayuda de una picareta y una pala pequeña tomábamos alrededor de un kilo de muestra, que guardamos en una bolsa con su respectiva etiqueta. En cada finca se realizaron tres muestreos aleatorios dentro de la parcela evitando los bordes.

La cobertura de arena es de color claro y presenta una textura arenosa compuesta por más de un 90% de arena fina, una capacidad de intercambio iónico, salinidad y capacidad de retención de agua baja, un alto contenido en carbonato cálcico y una densidad aparente de 1,64 g/cm³ [11](#).



Imagen 3. Fincas muestreadas especificando si presentaban riego o no.

3.2 Sistema de riego y evaluación de la calidad del agua de riego

Los goteros utilizados son de 4L h⁻¹ siendo común que varíen la dosis de riego en función de la etapa de desarrollo del cultivo desde 4-12 L/planta/semana.

El agua regenerada proviene de la capital, Arrecife, con origen en agua desalinizada de la desalinizadora de Punta de los Vientos. El proceso de depuración consiste en un

pretratamiento (retirada de sólidos por filtración), un tratamiento primario (decantación), un tratamiento secundario (digestión biológica), y un tratamiento terciario (microfiltración y cloración). El agua se ha muestreado y analizado durante varios años, desde la boca de riego de Zonzamas por el grupo de investigación de Recursos de Suelos y Aguas de la ULL. Según la clasificación agronómica de las aguas de riego de Ayers y Wescot ¹², estas aguas presentan un grado de restricción de débil a moderado.

En las condiciones actuales las aguas regeneradas analizadas cumplen los requisitos de las calidades 2.1 y 2.2 establecidos en el Real Decreto 1620/2007¹³, aunque la calidad de estas aguas debe ser mejorada sustancialmente reduciendo los niveles de sales, los desequilibrios entre cationes (en concreto entre el sodio y los cationes divalentes), eliminando los picos de contaminación biológica y disminuyendo la carga orgánica mediante métodos biológicos y/o físico-químicos (Grupo de investigación de Recursos de Suelos y Aguas de la ULL).

3.3 Manejo y producción

El marco de plantación es variable desde 1-2 m de pasillo hasta 1-0,5m entre plantas, siendo más estrecho generalmente en las parcelas regadas. Además, las fincas tenían plantado centeno en los bordes que actuaba como barrera protectora frente al viento. Cabe destacar que, según los datos facilitados por el Laboratorio Agrario del Cabildo de Lanzarote, la producción de batata en secano es de entre 6.000 y 8.000 kg/ha, mientras que en regadío asciende hasta los 12.000-15.000 kg/ha.

3.4 Métodos de análisis de suelos

Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas por 2 mm para obtener la fracción tierra fina sobre la que se realizan las determinaciones. Se calculó el contenido de humedad con el fin de expresar los resultados sobre base seca (105°C). El pH se determinó en una suspensión con agua (relación 1:2.5 suelo-solución), después de agitación y un tiempo de equilibrio de treinta minutos, y en extracto de pasta saturada (pHes). En ambos casos 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, modelo MPC 227, a 25°C y se expresó en decisiemens por metro (dSm^{-1}).

El sodio y el potasio cambiabiles fueron extraídos con acetato amónico 1N a pH 7 y el calcio y magnesio cambiabiles con acetato sódico 1N a pH=8.2. Las determinaciones de las

concentraciones de cada uno de los elementos fueron realizadas por espectrofotometría de absorción atómica (Thermo Series), efectuando su corrección en función de los cationes solubles. Todos los parámetros del complejo de cambio se expresaron en cmolckg^{-1} . Se determinó la relación de adsorción de sodio (RAS) a partir de los datos de Na, Ca y Mg del extracto saturado y el porcentaje de sodio intercambiable (PSIc) se determinó a partir del RAS. Se valoraron los cationes solubles en todos los extractos de saturación mediante cromatografía iónica.

Los carbonatos se evaluaron utilizando un calcímetro de Bernard en presencia de HCl 1:1, y se expresaron en porcentaje¹⁴. El contenido de carbono orgánico se determinó por vía húmeda por oxidación con dicromato potásico¹⁵, expresando el resultado en porcentaje. El nitrógeno total se valoró por el método Kjeldahl en Tekator, modelo 1026, expresando también el resultado en porcentaje.

Los micronutrientes (hierro, manganeso, cobre y zinc) se valoraron mediante extracción con EDTA-Na y determinación espectrofotométrica¹⁶. El boro asimilable se midió por extracción con agua caliente (HWSB)¹⁷ y determinación colorimétrica con azometina-H. También el boro soluble (Bes) se determinó en extracto saturado mediante colorimetría con azometina-H. El fósforo asimilable se obtuvo por extracción con NaHCO_3 0.5N a pH 8.5 y posterior determinación colorimétrica¹⁸.

3.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo mediante el programa Statistical Package for Social Sciences o SPSS para el S.O. Microsoft Windows™. Se compararon las medias de los factores analizados para el grupo de fincas con riego y en seco y se obtuvieron las gráficas correspondientes, donde las barras de error representan los intervalos de confianza al 95%. Además, se realizó un ANOVA para ver si existían diferencias significativas entre los grupos de riego y seco.

Resultados y Discusión



4. Resultados y discusión

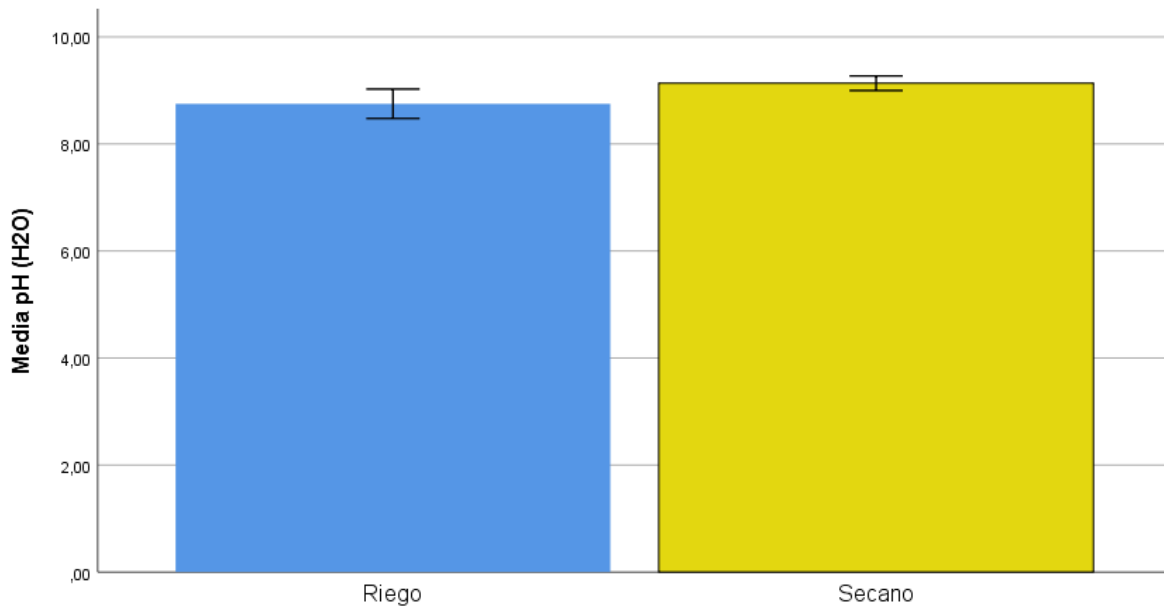
4.1 Análisis de los suelos e impacto del riego

A continuación, se presenta las gráficas obtenidas al comparar las medias de cada uno de los parámetros analizados para los grupos de fincas con riego (azul) y en secano (amarillo), comentando en cada caso si las diferencias entre cada grupo son significativas, según lo obtenido en el ANOVA, y lo que implica cada resultado:

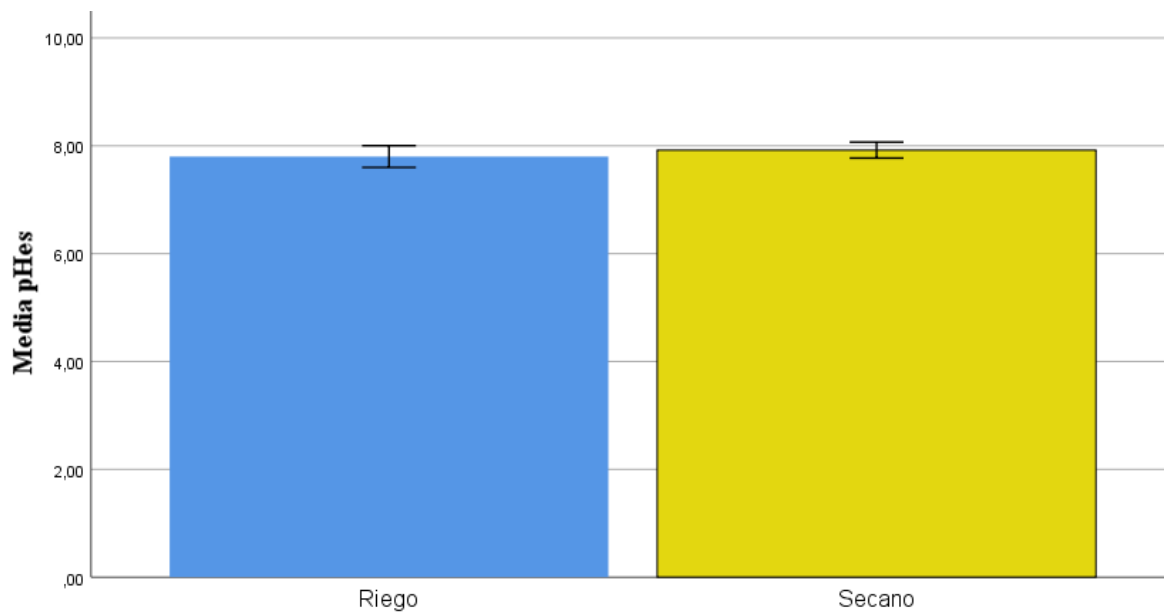
Parámetro	Sig.
pH (H ₂ O)	0,010
C (%)	0,110
N (%)	0,865
pHes	0,290
C.E. (dS/m)	0,009
Carbonatos (%)	0,081
Na (cmolc/kg)	0,006
Mg (cmolc/kg)	0,006
Ca (cmolc/kg)	0,006
K (cmolc/kg)	0,730
RAS (meq/L) ^{1/2}	0,001
PSIc (%)	0,002
Mn (mg/kg)	0,261
Zn (mg/kg)	0,777
Fe (mg/kg)	0,094
Cu (mg/kg)	0,004
HWSB (mg/kg)	0,003
Bes (mg/L)	0,038
P asimilable (mg/kg)	0,009

Tabla 2. ANOVA comparando las medias de todos los parámetros analizados para los grupos de suelos regados y suelos de secano. Los valores en rojo simbolizan diferencias significativas.

4.1.1 pH



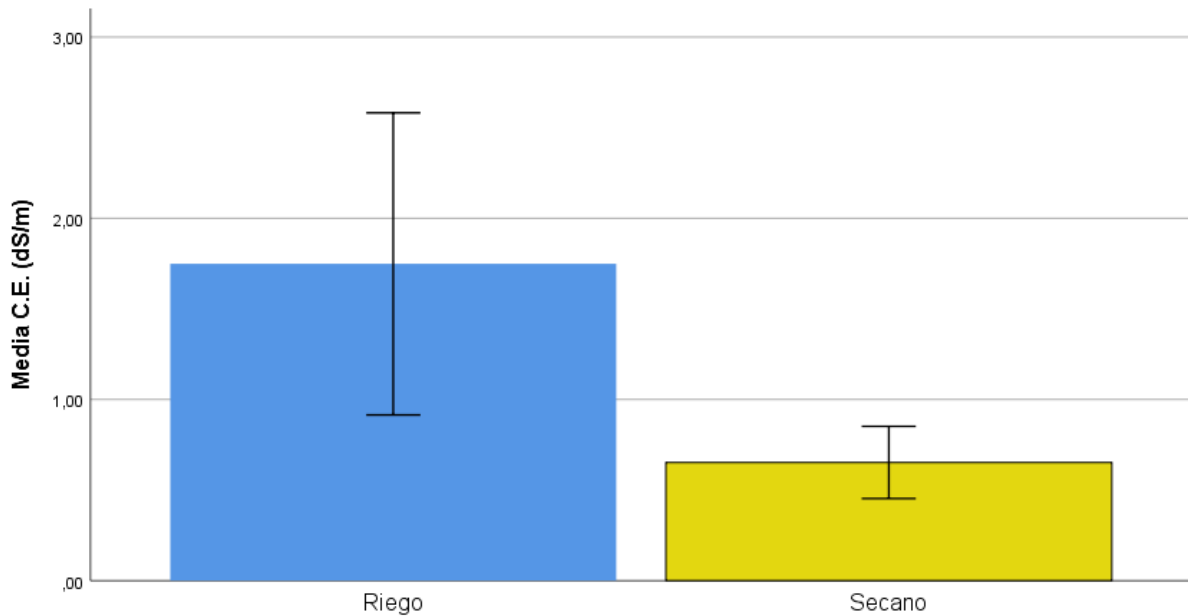
Gráfica 1. Medias del pH calculado a partir del extracto acuoso, de los dos grupos de fincas. Existen diferencias significativas



Gráfica 2. Medias del pH calculado a partir de la pasta saturada, de los dos grupos de fincas.

Los valores de pH obtenidos a partir del extracto acuoso son más elevados que los obtenidos a partir de la pasta saturada en aproximadamente un punto, pero se mantiene la misma relación en ambos casos. En los suelos de las fincas de secano son un poco más altos, llegando a presentar diferencias significativas en el caso del pH medido en el extracto acuoso. Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), los valores obtenidos a partir del extracto acuoso indican que los suelos son ligeramente alcalinos¹⁹.

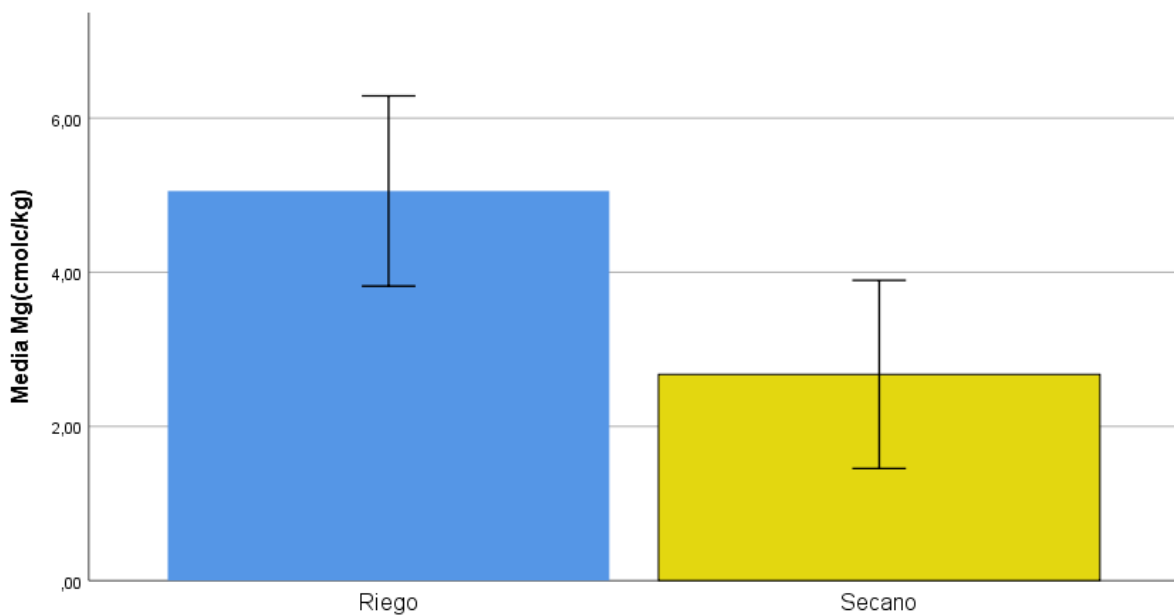
4.1.2 Conductividad eléctrica



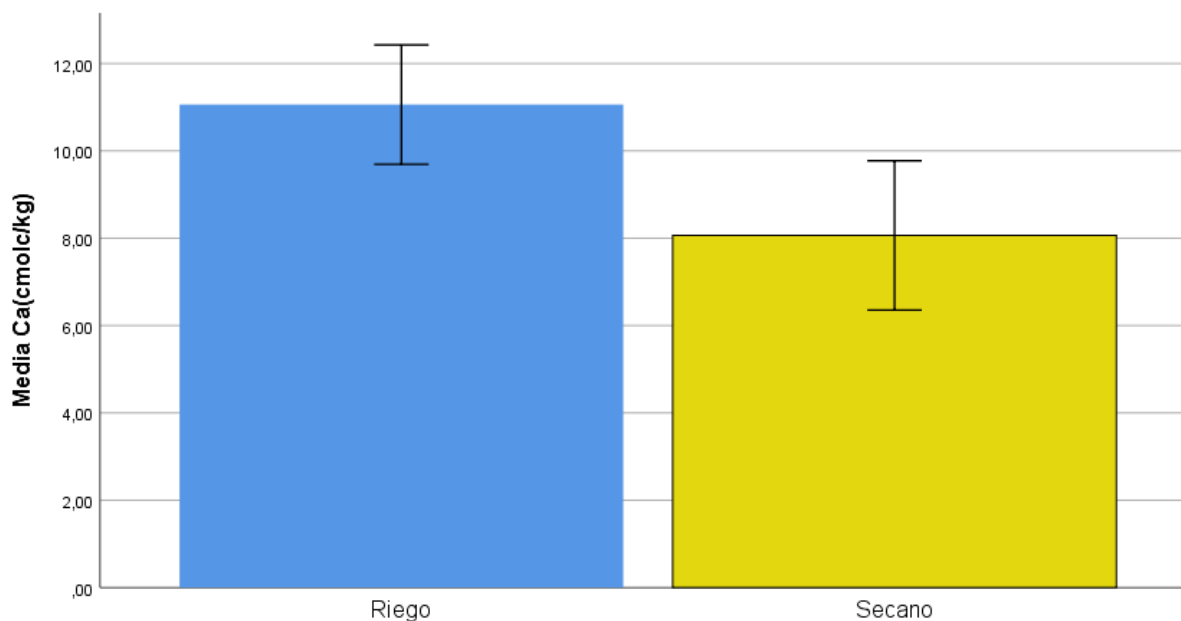
Gráfica 3. Medias de la conductividad eléctrica en dS/m calculado a partir de la pasta saturada, de los dos grupos de fincas. Existen diferencias significativas

Como se puede observar en la gráfica, los valores de conductividad eléctrica no solo son dos veces más altos en los suelos regados, sino que, además, según el ANOVA las diferencias son significativas. Si utilizamos los criterios USSL Staff²⁰ de clasificación de suelos según su nivel de salinidad, estos suelos se clasifican como ligeramente salinos (<2 dS/m).

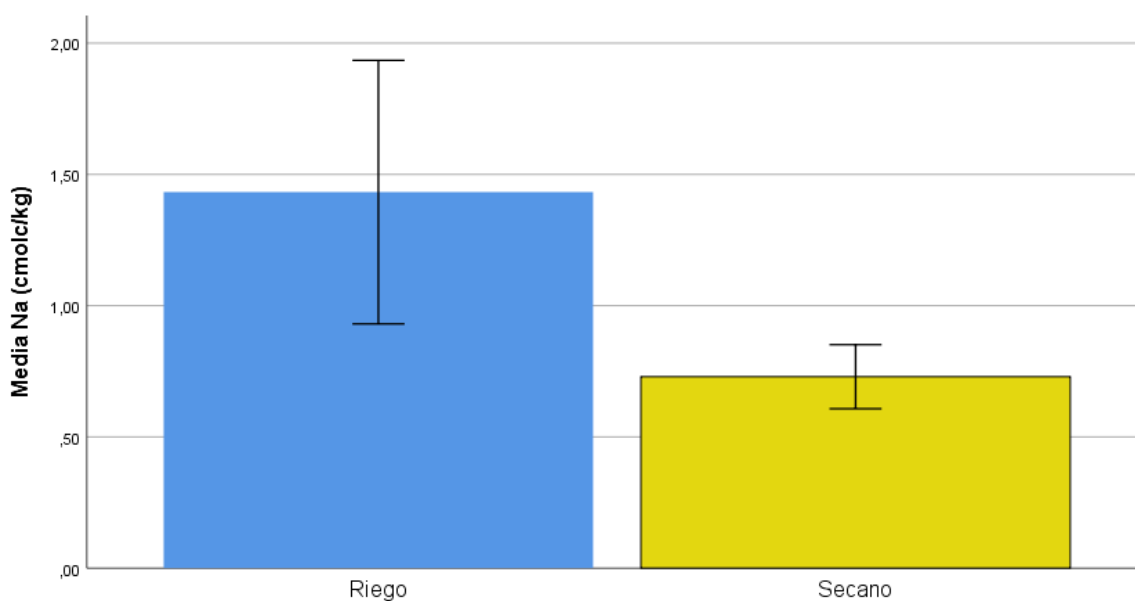
4.1.3 Cationes cambiables (Mg, Ca y Na)



Gráfica 4. Medias de los niveles de magnesio en cmolc/Kg de los dos grupos de fincas. Existen diferencias significativas.



Gráfica 5. Medias de los niveles de calcio en cmolc/Kg de los dos grupos de fincas. Existen diferencias significativas.



Gráfica 6. Medias de los niveles de sodio en cmolc/Kg de los dos grupos de fincas. Existen diferencias significativas.

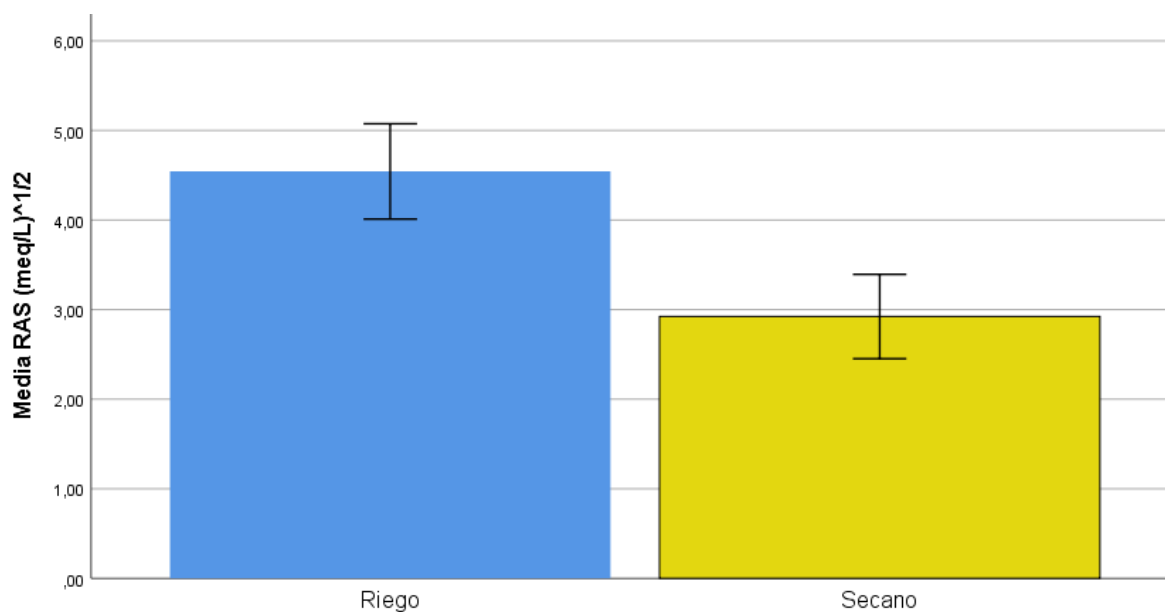
Podemos ver como los niveles de los cationes cambiabiles son significativamente más elevados en los suelos de las fincas con riego menos para el caso del potasio, cuya gráfica no se presenta.

Con respecto al magnesio, supera en todos los casos los 0,5 cmolc/Kg, que es el nivel mínimo establecido por Maff²¹. Niveles elevados de magnesio no aseguran que no puedan existir deficiencias en este elemento, ya que su disponibilidad depende de la relación con otros cationes, particularmente con el calcio y el potasio. Una relación Ca:Mg superior a 5:1 puede

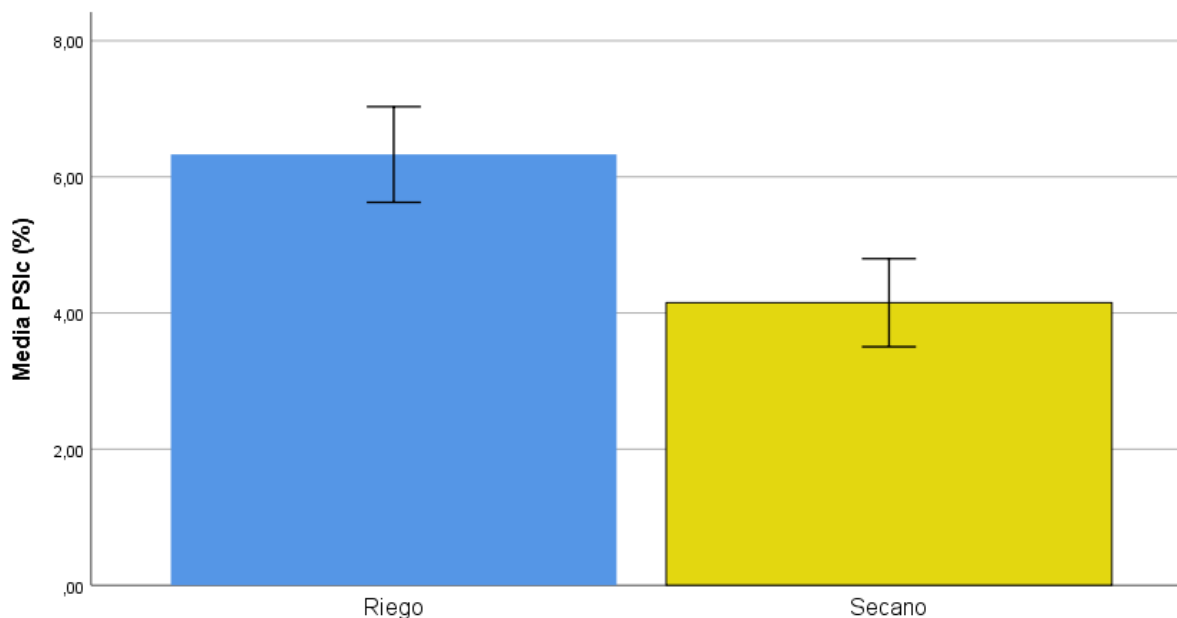
llevar a una disminución de la disponibilidad de magnesio. De igual forma, una relación K:Mg superior a 2:1 puede provocar deficiencias de este elemento²².

Para el calcio, cabe destacar que el valor de los suelos regados está bastante próximo a 10 cmolc/kg, límite adecuado para este elemento.

4.1.4 RAS y Porcentaje de sodio intercambiable calculado a partir del RAS



Gráfica 7. Medias de la relación de adsorción de sodio de los dos grupos de fincas. Existen diferencias significativas.

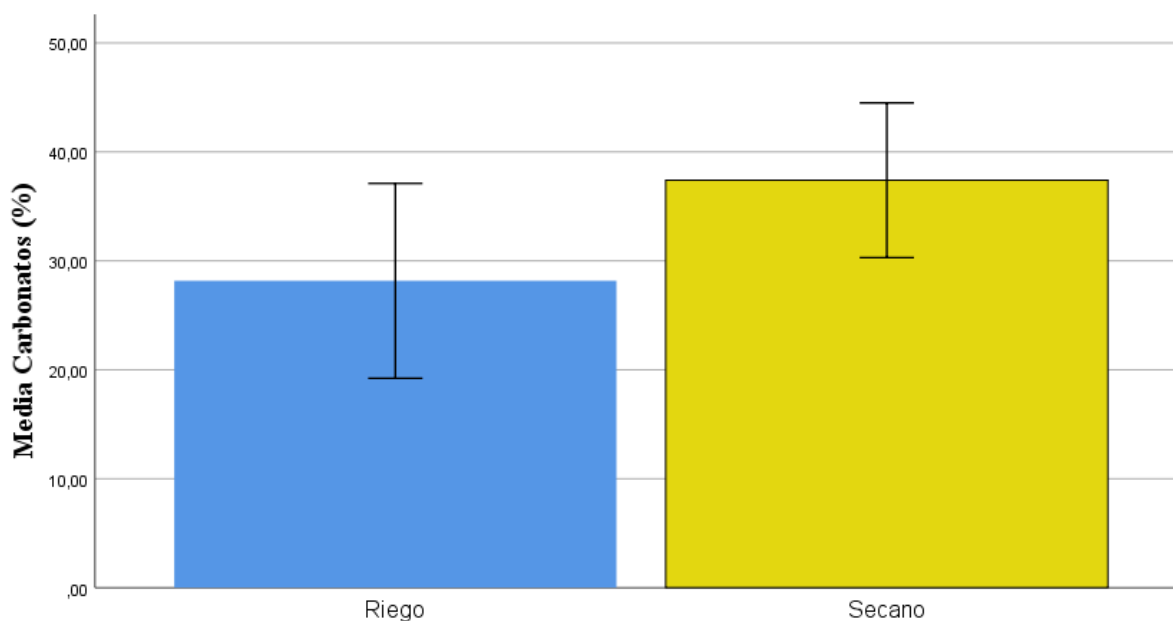


Gráfica 8. Medias del porcentaje de sodio intercambiable de los dos grupos de fincas. Existen diferencias significativas.

El PSI es una medida que nos informa sobre la sodicidad del suelo y, como podemos ver en la gráfica, existen valores mayores de PSic en los suelos regados, llegando a haber

diferencias significativas. Siguiendo el criterio de clasificación propuesto por Massoud²³, ambos grupos de suelos son no sódicos, al tener un valor inferior al 7%. Este aumento de la sodicidad se asocia al alto contenido de la RAS del agua de riego (alrededor de 10 meq/L^{1/2}).

4.1.5 Carbonatos

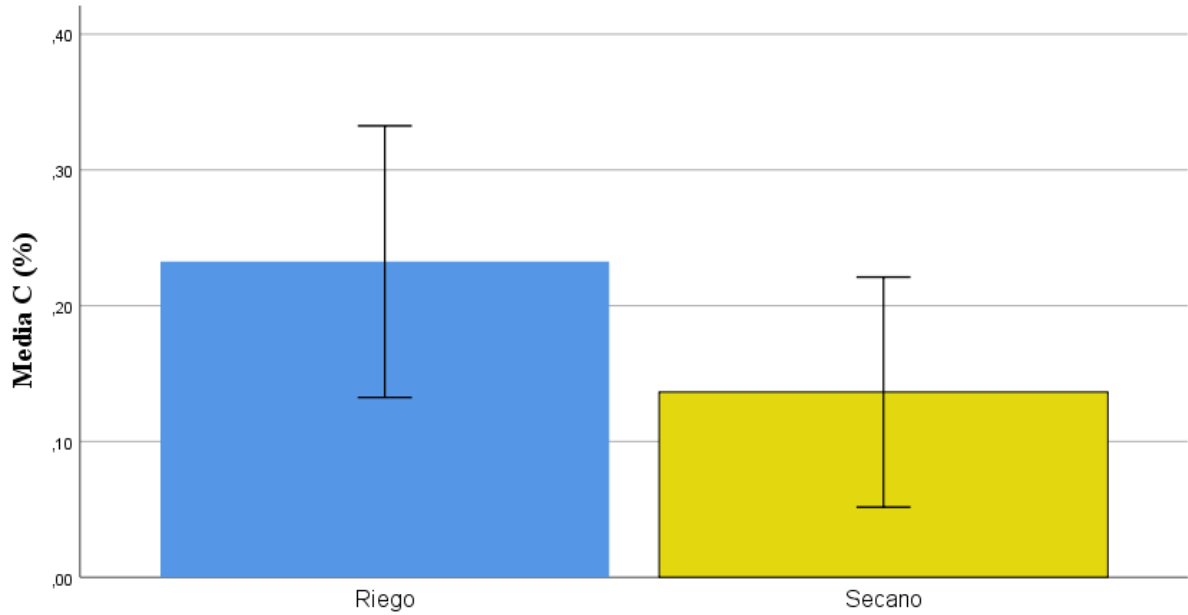


Gráfica 9. Medias del porcentaje de carbonatos de los dos grupos de fincas.

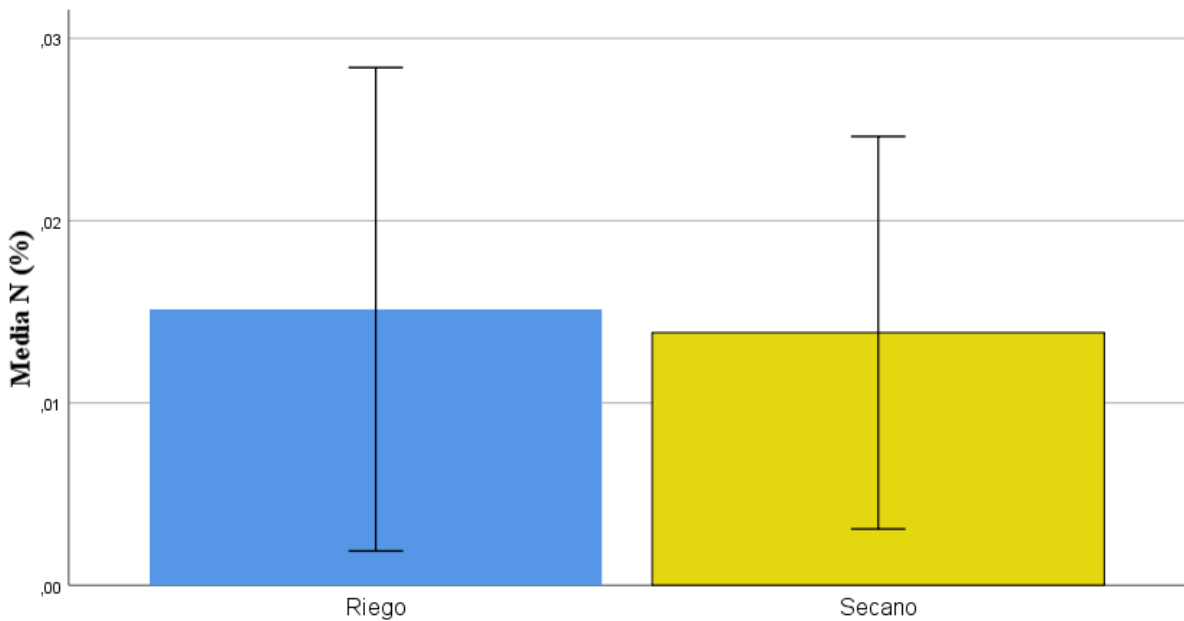
Los niveles de carbonatos son superiores en los suelos de fincas de secano, aunque no hay diferencias significativas, lo cual resulta lógico ya que los suelos con riego están sometidos a un mayor lavado. Según Landon²² se considera que un porcentaje de carbonatos superior al 15 % afecta a las propiedades físico-químicas de un suelo. La presencia de carbonatos libres, indica que el complejo de cambio está dominado por calcio cambiante y la solución del suelo enriquecida en bicarbonatos lo que implica normalmente favorables condiciones físicas del suelo y efectos positivos sobre la actividad microbiana. El exceso de calcio, sin embargo, puede llevar a deficiencias de elementos menores y a antagonismos con otros elementos²².

Existe también un aporte de carbonatos a través del polvo atmosférico que llega desde la costa africana y de las arenas calcáreas de origen marino²⁴. Dregne²⁵, sugiere que una de las principales fuentes de carbonato cálcico en los suelos es la deposición desde la atmósfera, bien como partículas de carbonato cálcico o como otras sales de calcio que al reaccionar con el ácido carbónico en el suelo forman carbonato cálcico. Otros autores llegan a la misma conclusión²⁶.

4.1.6 Carbono orgánico y Nitrógeno



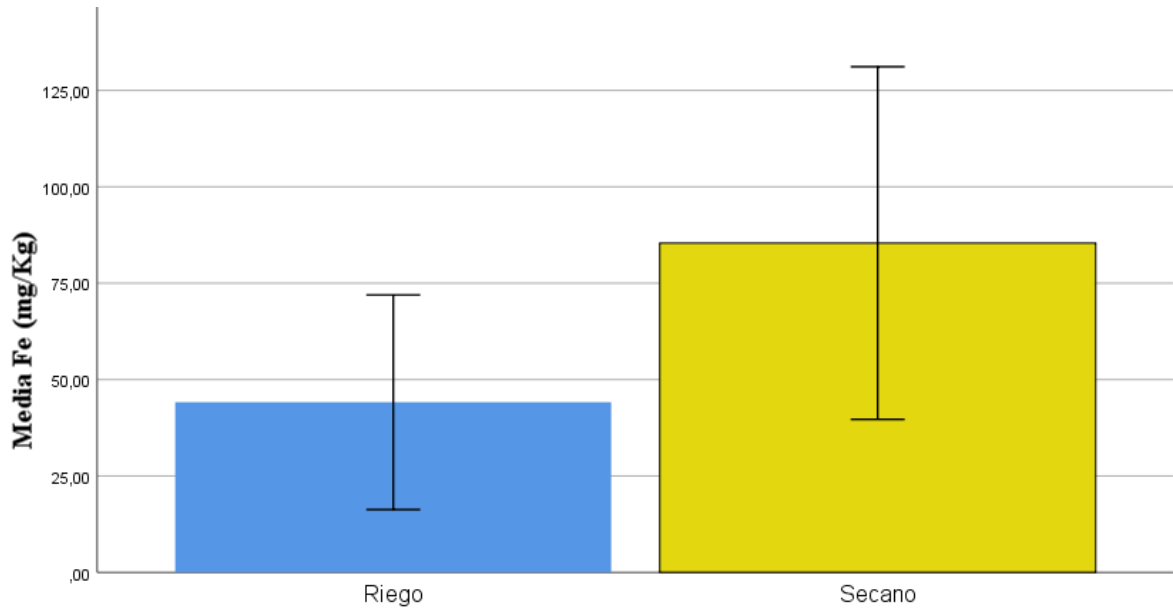
Gráficas 10. Medias del porcentaje de carbono orgánico de los dos grupos de fincas.



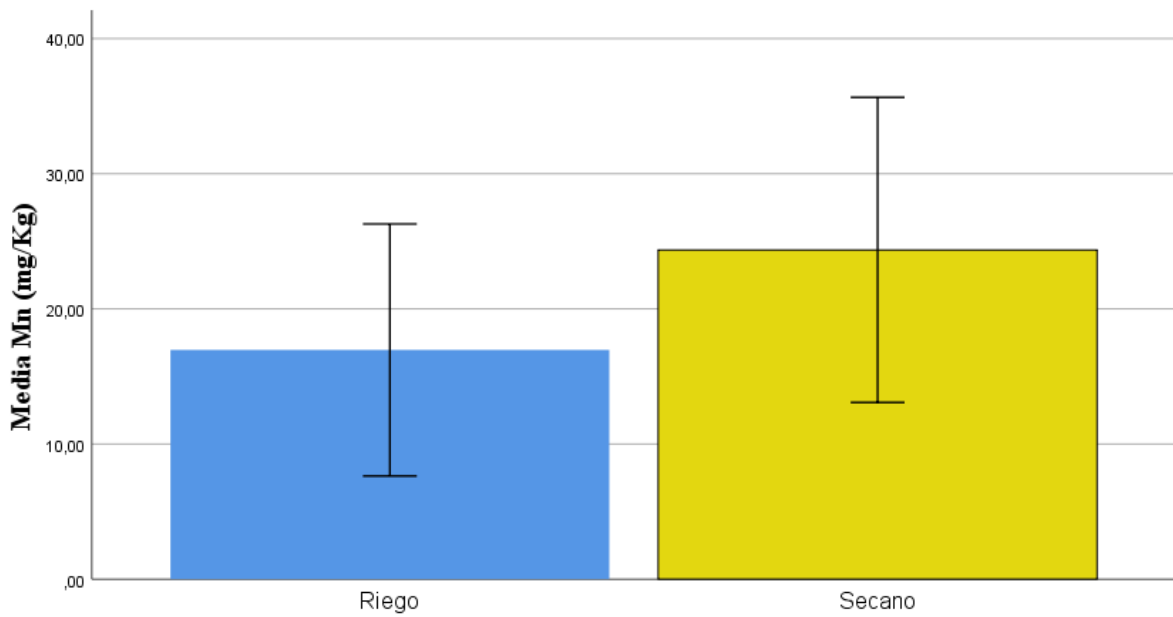
Gráficas 11. Medias del porcentaje de nitrógeno de los dos grupos de fincas.

En ambos casos podemos observar como en los suelos regados los valores son superiores, aunque no llegan a haber diferencias significativas. Lo que sí que comparten ambos grupos de suelos es que los valores son muy bajos según la clasificación de Metson²⁷, inferiores al 2 % en el caso del carbono y al 0.1 % para el nitrógeno.

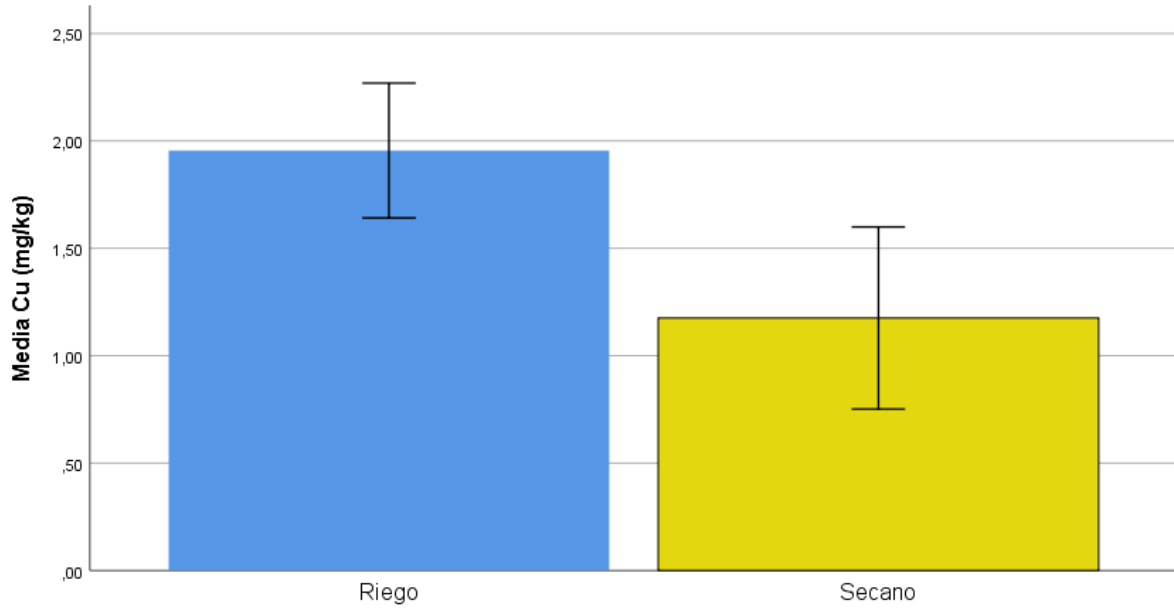
4.1.7 Micronutrientes



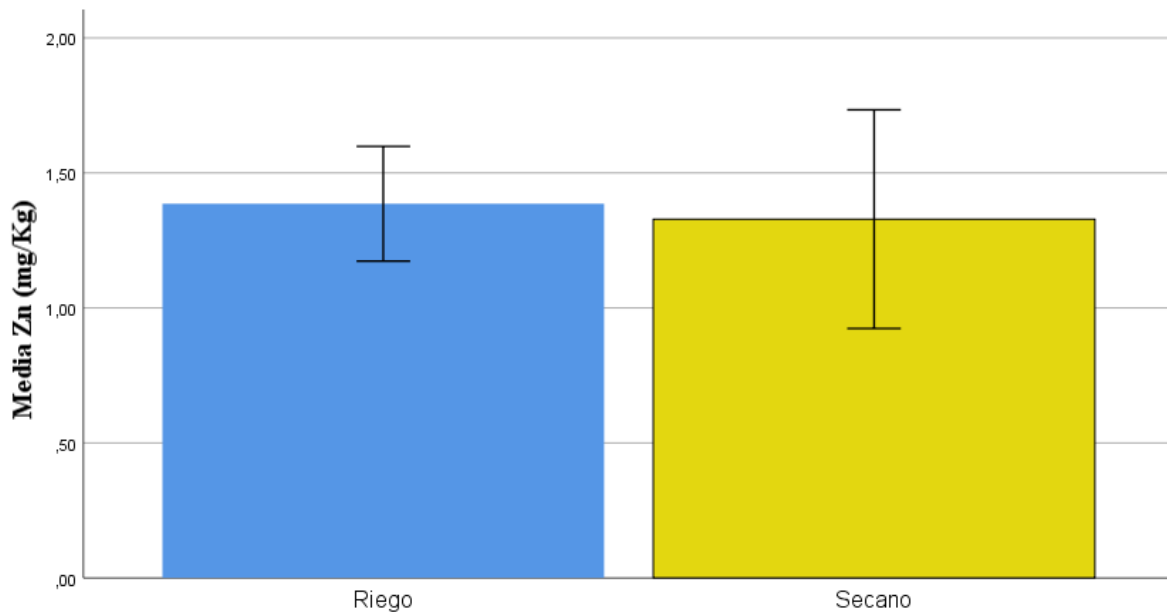
Gráficas 12. Medias de los niveles de hierro en mg/Kg de los dos grupos de fincas.



Gráfica 13. Medias de los niveles de manganeso en mg/Kg de los dos grupos de fincas.



Gráfica 14. Medias de los niveles de cobre en mg/Kg de los dos grupos de fincas. Existen diferencias significativas.



Gráfica 15. Medias de los niveles de zinc en mg/Kg de los dos grupos de fincas.

Para los micronutrientes podemos ver como los niveles del hierro y del manganeso son más elevados en los suelos de secano, al contrario que con el cobre, donde los mayores niveles se encuentran en los suelos con riego, por otro lado, los valores de zinc son similares en ambos casos. Las únicas diferencias significativas se observan en los niveles de cobre, donde, como ya se comentó, hay niveles mayores en los suelos regados.

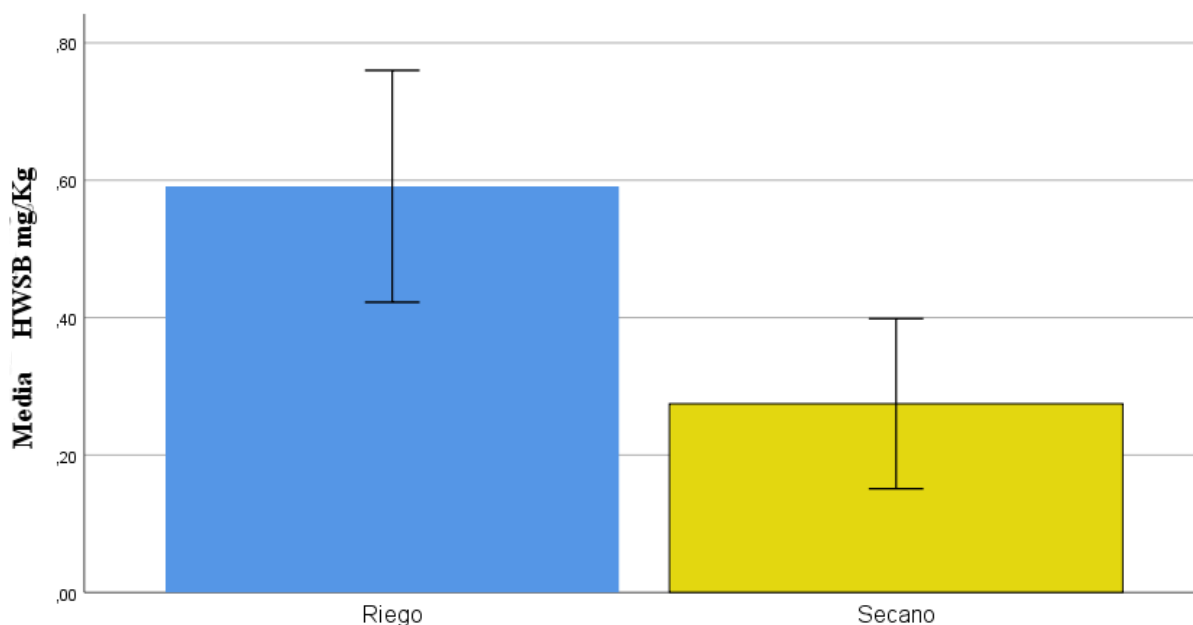
Con respecto al hierro, se consideran adecuados los valores al ser superiores a 60 mg/kg, caso que solo se da en los suelos de secano, ya que en los de regadío la media es de 44 mg/kg, inferior a 60 mg/kg.

Para el manganeso, la FAO²⁸ establece el valor de 6 mg/kg como el nivel mínimo de manganeso necesario para no provocar deficiencias en los cultivos. Según esto, los niveles son adecuados en ambos casos ya que están por encima, aunque de nuevo, los valores son superiores en los suelos de secano. Cabe destacar que los niveles de manganeso elevados, superiores a 200 mg/kg, pueden inducir clorosis férrica, y disminuir la disponibilidad de fósforo²¹, aunque esto está lejos de cumplirse en ambos casos.

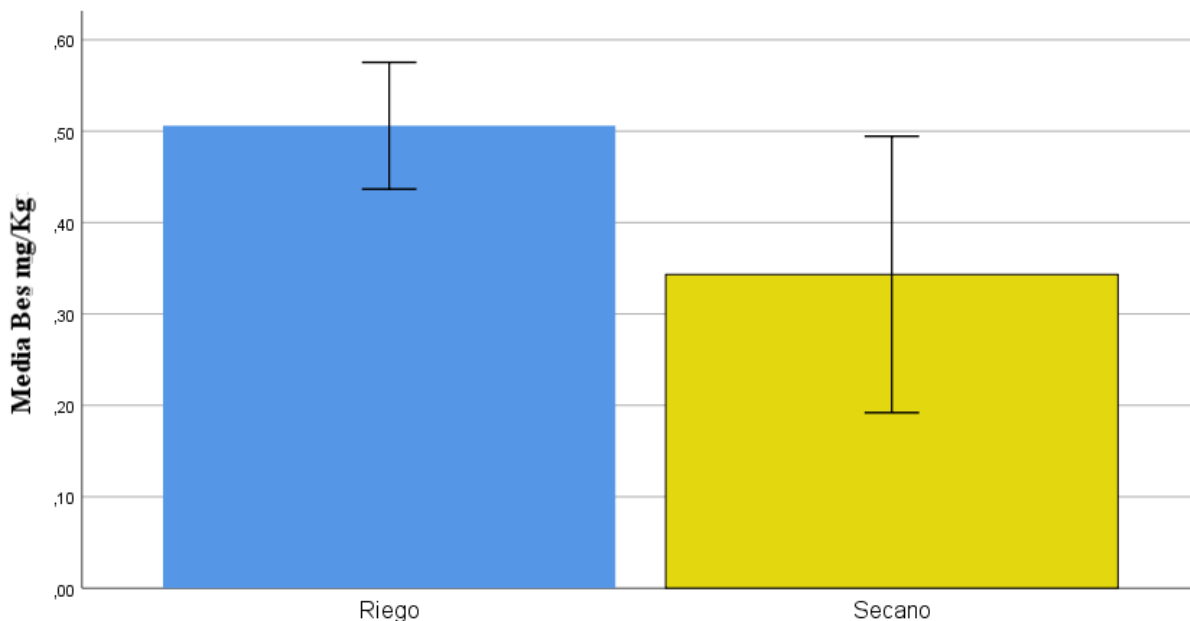
Los niveles superiores a 1 mg/kg de cobre son los que establece la FAO²⁸ como mínimos para no provocar deficiencias en los suelos. Para nuestras fincas, las diferencias entre los niveles de cobre son significativamente mayores en los suelos regados pero la condición de ser superiores a 1 mg/kg se cumple para los dos casos, aunque en límite en los suelos de secano.

Los niveles de zinc de 0,4 mg/kg son el mínimo establecido por la FAO²⁸ para no provocar deficiencias. Los dos grupos de suelos cumplen este requisito teniendo niveles similares que rondan los 1,3 mg/kg.

4.1.8 Boro



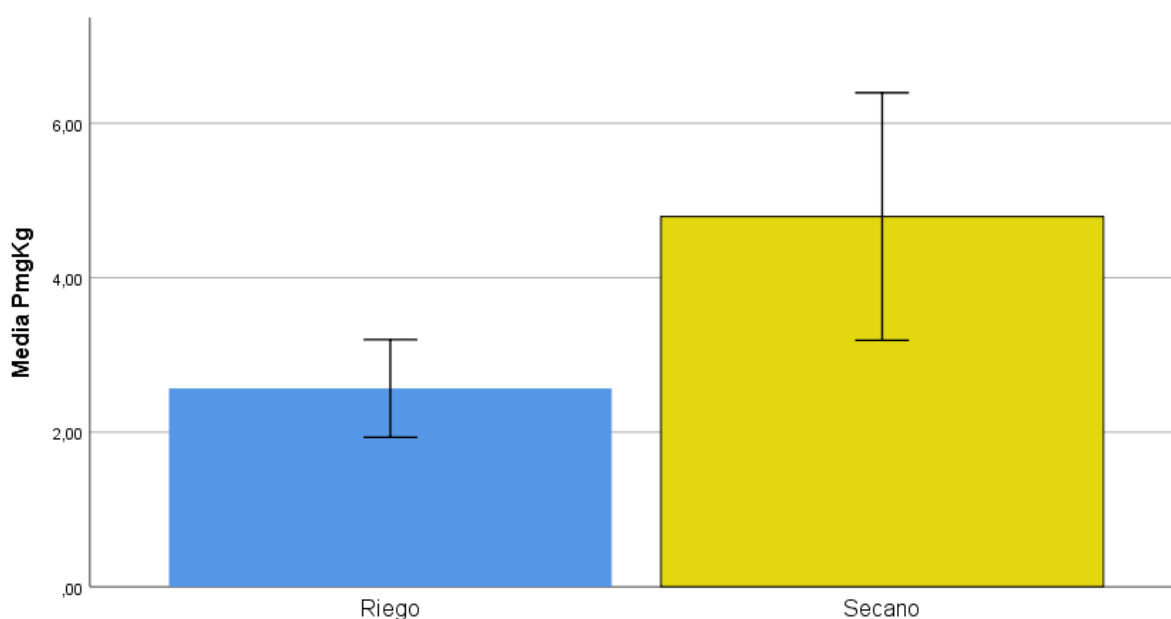
Gráfica 16. Medias de los niveles de boro asimilable, de los dos grupos de fincas. La estrella simboliza diferencias significativas.



Gráfica 17. Medias de los niveles de boro obtenidos a partir del extracto de la pasta saturada, de los dos grupos de fincas. Hay diferencias significativas.

Ya sea el boro asimilable obtenido por el método de extracción con agua caliente, o el boro soluble obtenido a partir del extracto de pasta saturada, observamos mayores niveles de este elemento en los suelos regados, diferencias que además son significativas. Según los criterios del USSL Staff²⁰, si tomamos como niveles marginales de tolerancia al boro los valores entre 0,7 y 1,5 mg/kg, podemos ver como en ambos suelos, al tener valores inferiores a 0,7 mg/kg, los cultivos no deberían verse apenas afectados por este elemento.

4.1.9 Fósforo asimilable



Gráfica 18. Medias de los niveles de fósforo asimilable de los dos grupos de fincas. Existen diferencias significativas.

Podemos observar valores significativamente superiores de fósforo asimilable en los suelos de secano. A pesar de que podían esperarse valores relativamente altos de fósforo debido a los aportes de polvo en suspensión que llegan con los frecuentes vientos saharianos, y que según Torres²⁹ pueden contener hasta 85 ppm de fósforo asimilable, los valores son bajos, posiblemente porque los suelos estudiados presentan carbonatos y pH básicos, que implican una elevada fijación de fósforo.

4.2 Comparación con otros estudios

Se han realizado varios estudios sobre los efectos a largo plazo en el suelo que tienen las aguas desalinizadas y aguas regeneradas a partir de aguas desalinizadas usadas para el regadío de cultivos en arenados en la isla de Lanzarote.

En el estudio realizado por Díaz et al.⁹ en arenados regados con aguas desalinizadas y regeneradas se observó un aumento de la salinidad y de la concentración de boro de los suelos. Además, en los suelos regados con agua regenerada también aumentaron los niveles de sodio intercambiable y de la RAS.

Igualmente se observaron algunos resultados positivos, caso del aumento de los niveles de fósforo asimilable. Los autores concluyeron que es necesario mejorar la calidad del agua desalinizada para disminuir los niveles de boro y equilibrar los niveles de cationes y para que el regadío con aguas desalinizadas y regeneradas pueda ser una práctica sostenible a medio y largo plazo sin que afecte negativamente a las propiedades de los suelos.

En el estudio llevado a cabo por Tejedor et al.³⁰ se compara el desarrollo de *Jatropha curcas*, utilizada para la obtención de biodiesel, en Fuerteventura, en suelos abandonados, de diferente textura, y regados con aguas regeneradas y desalinizadas. Se comprobó que la productividad de la planta estaba controlada, no por el tipo de suelo, sino por el tipo de agua de riego, siendo las aguas regeneradas más efectivas gracias a su mayor contenido en nutrientes (principalmente P y K) y menor contenido en boro.

Aun así, el estudio concluyó que para el cultivo a largo plazo se debería mejorar la calidad del agua regenerada en relación con la salinidad y al contenido en boro, además de manejar adecuadamente las técnicas de riego.

Conclusiones



5. Conclusiones

- En los suelos regados con aguas regeneradas, los resultados indican valores significativamente superiores de conductividad eléctrica, RAS, PSIC y de boro asimilable y soluble, asociados a la calidad del agua de riego, sin embargo, aún no son preocupantes. Esto puede ser debido al escaso periodo que llevan sometidos los suelos a riego, por lo que es necesario realizar estudios a más largo plazo para evaluar la sostenibilidad del cambio de manejo. En todo caso la tendencia observada lleva a concluir que es necesario un mayor control de la calidad y manejo de estas aguas.
- Por otra parte, este agrosistema tradicional constituye además un paisaje singular de la isla de Lanzarote, su revalorización como parte integrante del territorio y como legado cultural es indiscutible, por lo que su manejo debe realizarse en las mejores condiciones para que pueda ser aprovechado por las generaciones futuras sin comprometer la calidad de los suelos, de modo que su uso sea sostenible.

Conclusions

- In soils irrigated with reclaimed water, the results indicate significantly higher values of electrical conductivity, RAS, PSIC and assimilable and soluble boron, associated with the quality of irrigation water, however, they are not yet worrisome. This may be due to the short period that the soils have been subject to irrigation, which is why it is necessary to carry out longer-term studies to evaluate the sustainability of the management change. In any case, the observed trend leads to the conclusion that a greater control of the quality and management of these waters is necessary.
- On the other hand, this traditional agrosystem is also a unique landscape of the island of Lanzarote, its revaluation as an integral part of the territory and as a cultural legacy is indisputable, so its management must be carried out in the best conditions so that it can be exploited by future generations without compromising the quality of the soils, so that their use is sustainable.

Agradecimientos



7. Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar a mis tutoras, María Luisa Tejedor Salguero y Carmen Concepción Jiménez Mendoza, al igual que a toda la Unidad Departamental de Edafología de la Universidad de La Laguna, porque sin todas estas personas no hubiese sido posible realizar este trabajo. Asimismo, también he de agradecer al Servicio Insular Agrario de del Cabildo de Lanzarote, especialmente a Ana Garrido, Fernando Delgado y Milkos Santana, por su colaboración activa en la planificación del muestreo en la isla de Lanzarote, y por supuesto a los agricultores que han puesto sus fincas a nuestra disposición para la realización de este trabajo. Por último, pero no por ello menos importante, también quiero darle las gracias a mi familia, a mi pareja y a mis amigos.

Bibliografía



8. Bibliografía

1. **Atoche Peña, P.** 2011. Nuevas dataciones radiocarbónicas para la protohistoria canaria: El yacimiento de Buenavista (Lanzarote). Anuario de Estudios Atlánticos (Las Palmas de Gran Canaria: Patronato de la Casa de Colón) **57**.
2. **Soil Survey Staff.** 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
3. **IUSS Working Group WRB.** 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.
4. **Rodríguez Rodríguez, A., Arbelo Rodríguez, C. D.** 2007. III Simposio sobre Control de la Degradación de Suelos y la Desertificación. Universidad de La Laguna, Fuerteventura.
5. **Tejedor, M.; Jiménez, C.C.; Díaz, F.** 2002. Soil moisture regime changes in tephra-mulches soils: implications for Soil Taxonomy. Soil Science Society America Journal, **66**:202-206
6. **Gobierno de Canarias.** Descripción de las unidades geológicas de Lanzarote. Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias. Fecha de consulta: 3 de febrero de 2019. Enlace: https://www.idecanarias.es/resources/GEOLOGICO/LZ_LITO_unidades_geologicas.pdf
7. **Li, X.** 2003. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. CATENA, **52**(2): 105-127.
8. **Canal Gestión Lanzarote.** 2019. Nuestro ciclo integral del agua. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2019. Enlace: <https://www.canalgestionlanzarote.es/gestionamos-el-agua/nuestro-ciclo-integral-del-agua/>
9. **Díaz, F., Tejedor, M., Jiménez, C., Grattan, S., Dorta, M. and Hernández, J.** 2013. The imprint of desalinated seawater on recycled wastewater: Consequences for irrigation in Lanzarote Island, Spain. Agricultural Water Management, **116**: 62-72.
10. **Cabildo de Lanzarote.** Fichas técnicas de cultivos de Lanzarote. Agrolanzarote. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2019. Enlace: <http://www.agrolanzarote.com/productos>
11. **Jiménez, C. C., Tejedor, M., Díaz, F., 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**: 63-67.
12. **Ayers, R.S., Wescot, D.W.** 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. I. FAO, Rome.
13. **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.
14. **Garrido, M. S.** 1994. Interpretación de análisis de suelos. Ministerio de Agricultura. **5**:25-26.
15. **Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R.** Ed., 1982. Methods of soil analysis; 2. Chemical and microbiological properties, 2. Aufl. 1184 S., American Soc. of Agronomy (Publ.), Madison, Wisconsin, USA, gebunden 36 Dollar.
16. **Lakanen, E., Ervio, R.** 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta. Agric. Scand. **17**:131-139.
17. **Gupta, U. C.** 1979. Some factors affecting the determination of hot-water-soluble-boron from Podsoils using azomethine-H. Can J. Soil Sci. **59**: 241-247.
- 18.
19. **Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C.** 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3º Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 960p.
20. **U.S.S.L. STAFF.** 1954. Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils, L.A. Richards (ed.), U.S. Dept. of Agric. Hand., vol. 60, U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC. 172p.
21. **Maff.** 1967. Soil potassium and magnesium. Tech. Bull. 14. HMSO.
22. **Landon, J.R.** 1991. Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. J.R. Landon (Ed.) Longman Scientific and Technical Copublished in the United States with John Wiley and Sons, Inc., New York, 474p.
23. **Massoud, F.I.** 1971. A note on the need for accepted definitions and methods of characterization of salt affected soils. IRYDA: Information International Society of Soil Science. Reunión de la Subcomisión de Suelos Salinos. Sevilla.
24. **Coude-Gaussens, G., Rognon, P.** 1988. Origine eolienne de certains encroûtements calcaires sur l'île de Fuerteventura (Canaries Orientales). Geoderma **42**: 271-293.
25. **Dregne, H.E.** 1976. Soils of arid regions. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam-Oxford-New York. 237 p.
26. **Eriksson, E.** 1958. The chemical climate and saline soils in the arid zone. In: UNESCO, Climatology, Reviews of Research. Arid Zone Res. **10**: 147-180.

27. **Metson, A.J.** 1961. Methods of chemical analysis for soil survey samples. New Zealand DSIR Soil Bur. Bull. 12. Govt. printer. Wellington. New Zealand.
28. **FAO.** 1982. Soil and plant testing and analysis. Soils Bulletin. 38/1. Rome.
29. **Torres, J.M.** 1995. El suelo como recurso natural: procesos de degradación y su incidencia en la desertificación de la isla de Fuerteventura. Tesis Doctoral. Facultad de Biología. Universidad de La Laguna.
30. **Tejedor, M., Jiménez, C. C., Hernández-Moreno, J.M., Díaz, F.** 2011. Tephra-mulched soils irrigated with reclaimed urban wastewater in former dry-farming systems of Lanzarote (Spain). CATENA, 84:108-113.