

**AUTORIZACIÓN DEL TRABAJO FIN DE  
GRADO POR SUS DIRECTORES**

**CURSO 2021/2022**



**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**

**SECCIÓN INGENIERÍA AGRARIA**

**GRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y DEL MEDIO RURAL**



**DISEÑO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN  
ENSAYO PILOTO PARA EL ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL RIEGO CON  
AGUA DESALADA EN PLATANERA**

Jorge Taño Pereyra

San Cristóbal de La Laguna, Septiembre 2022

DIRECTOR – COORDINADOR: Antonio Francisco Marrero Domínguez

DIRECTOR: Domingo Félix Saenz Pisaca

como Director/es del alumno **Jorge Taño Pereyra**

en el TFG titulado: **Diseño, instalación y puesta en funcionamiento de un ensayo piloto para el estudio de los efectos del riego con agua desalada en platanera**

nº de Ref.....

doy/damos mi/nuestra autorización para la presentación y defensa de dicho TFG, a la vez que confirmo/confirmamos que el alumno ha cumplido con los objetivos generales y particulares que lleva consigo la elaboración del mismo y las normas del Reglamento de Trabajo Fin de Grado de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería.

La Laguna, a 5 de septiembre de 2021

Fdo:.....

(Firma de los directores)

**SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE TRABAJO FIN DE GRADO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a mi familia y amigos, sobre todo a mis padres, gracias por el apoyo incondicional que me han dado siempre y por no soltarme nunca de la mano. Soy quien soy gracias a vosotros.

A la gran familia que me ha dado esta etapa académica. Gracias por estos años tan especiales de mi vida. A mis tutores Antonio Francisco Marrero Domínguez y Domingo Félix Saenz Pisaca, por acompañarme y guiarme en este camino. Gracias por estar ahí siempre que lo he necesitado.

Por último, me gustaría dar las gracias a los operarios de la escuela en las ayudas prestadas para sacar adelante el trabajo y su puesta en marcha.

# **DISEÑO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN ENSAYO PILOTO PARA EL ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL RIEGO CON AGUA DESALADA EN PLATANERA**

## **AUTORES**

ALUMNO: Taño Pereyra, Jorge

DIRECTOR – COORDINADOR: Antonio Francisco Marrero Domínguez

DIRECTOR: Domingo Félix Saenz Pisaca

## **PALABRAS CLAVE**

Agua desalada, platanera, suelo, tratamientos

## **RESUMEN**

La escasez de agua y su calidad, sumada a los problemas de suelo y cultivo y en Canarias, ha obligado a buscar nuevas alternativas para paliar la situación. Debido a la sobre explotación de acuíferos y la falta de lluvias para la posterior recarga de estos, unido a un aumento poblacional y una mayor extensión del turismo han sido los principales causantes de esta escasez. Además, la agricultura presenta sistemas de cultivos muchos más tecnificados y de mayores superficies, demandando grandes cantidades de agua para solventar las necesidades hídricas del cultivo.

Algunas de las soluciones, para una mejor gestión del agua, ha sido usar agua depurada, aumentar el uso de sistemas de riego por localización y la más importante, el agua desalada. Por ello, mi trabajo trata de estudiar los efectos de este tipo de agua con otras de distintos orígenes sobre la planta y el suelo.

El ensayo se llevó a cabo en la Sección de Ingeniería Agraria, de la EPSI, de la ULL y consistió en la utilización de cuatro tipos de aguas diferentes: agua desalada con origen del canal "Unión del norte", agua testigo sin desalar y agua desalada con 4 tipos de tratamientos. La especie con la que se trabaja es la Gruesa Palmera. La experiencia se llevó a cabo, en un invernadero tipo Canario, en la zona alta se ubicaron los depósitos del agua y la planta de ósmosis y en la zona continua por debajo 24 contenedores de 300L donde se ubicará una planta por contenedor. Como sustratos, se usó un primer horizonte más fino de picón y el resto tierra nueva extraída en los terrenos de la facultad

Al trabajar con 4 tipos de agua, corresponden 6 contenedores para cada tratamiento. Debido a la presencia de aguacates en uno de los laterales y para paliar el efecto de la sombra se ubicará la planta al azar. La ejecución de dicho trabajo nos permitirá:

1º Conocer los efectos de las distintas aguas en el suelo y en la planta.

2º Llevarlo a campo y recuperar la estructura de suelos afectados y por ende aumentar las producciones y calidad.

3º Reducir los fertilizantes usados para paliar las consecuencias de las malas aguas.

4º Controlar la incrustación o la corrosión en las redes de distribución del agua.

A lo largo del desarrollo del ensayo se fueron tomando las medidas de diferentes parámetros cuantitativos: la altura de la planta, el diámetro y la longitud y ancho de cada hoja emitida.

# **DESIGN, INSTALLATION AND COMMISSIONING OF A PILOT TEST FOR THE STUDY OF THE EFFECTS OF IRRIGATION WITH DESALINATED WATER IN PLANTAIN PLANTS**

## **AUTHORS**

STUDENT: Taño Pereyra, Jorge

**DIRECTOR – COORDINATOR:** Antonio Francisco Marrero Domínguez

**DIRECTOR:** Domingo Félix Saenz Pisaca

**KEYWORDS** Desalinated water, banana plantation, soil, treatments

## **ABSTRACT**

The scarcity of water and its quality, added to soil and crop problems in the Canary Islands, has forced the search for new alternatives to alleviate the situation. Due to the overexploitation of aquifers and the lack of rain for their subsequent recharge, together with a population increase and a greater extension of tourism, they have been the main causes of this shortage. In addition, agriculture presents much more technified crop systems and larger areas, demanding large amounts of water to meet the water needs of the crop.

Some of the solutions for better water management have been to use purified water, increase the use of localized irrigation systems and, most importantly, desalinated water. For this reason, my work tries to study the effects of this type of water with others of different origins on the plant and the soil.

The test was carried out in the Section of Agrarian Engineering, of the EPSI, of the ULL and consisted of the use of four different types of water: desalinated water originating from the ``Unión del Norte`` channel, control water without desalination and desalinated water with 2 types of treatments. The species with which we work is the Thick Palm Tree. The experience was carried out in a Canary-type greenhouse, in the upper area the water tanks and the osmosis plant were located and in the continuous area below, 24 300L containers where one plant per container will be located. As substrates, a first thinner layer of picón was used and the rest was new earth extracted on the grounds of the faculty.

When working with 4 types of water, there are 6 containers for each treatment. Due to the presence of avocados on one of the sides and to alleviate the effect of the shade, the plant will be located randomly. The execution of this work will allow us to:

- 1º Know the effects of the different waters on the soil and on the plant.
- 2º Take it to the field and recover the structure of affected soils and therefore increase production and quality.
- 3º Reduce the fertilizers used to alleviate the consequences of bad water.
- 4º Control scale or corrosion in the water distribution networks.

Throughout the development of the test, the measurements of different quantitative parameters were taken: the height of the plant, the diameter and the length and width of each leaf emitted.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 El agua y la producción de alimentos. ....	14
2.2 El agua en Canarias. ....	17
2.3 La desalación de agua por osmosis inversa .....	21
2.3.1 Agua desalada en la agricultura. ....	22
2.3.2 Necesidad de remineralización .....	26
2.5 La platanera en canarias. ....	29
2.6 Estudios sobre el uso de agua desalada en platanera y en la agricultura canaria. ....	30
2.7 Sistemas de riego localizado de bajo coste. Utilidad para la experimentación. ....	32
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	34
3.1 Situación .....	35
3.2 Contenedores de cultivo. ....	35
3.3 Suelo .....	36
3.4 Planta de desalación .....	38
3.5 Sistema de riego.....	40
3.6 Sistema de abonado y pretratamiento .....	41
3.6.1 Agua testigo .....	41
3.6.2 Agua desalada.....	42
3.7 Datos climáticos durante el ensayo.....	42
3.7.1 Temperatura .....	42
3.7.2. Humedad relativa .....	44
3.8 Material vegetal .....	45
3.8.1 Taxonomía .....	45
3.8.2 Morfología .....	45
3.8.3 Necesidades del cultivo. ....	47
3.8.4 Técnicas de cultivo .....	49
3.8.5 Observaciones.....	51
3.8.6 Parámetros de medida en Musa x paradisiaca .....	52
3.8.6.1 Medias de altura en cada tratamiento.....	52
3.8.6.2 Medias del perímetro en cada tratamiento. ....	53
3.8.6.3 Medias del número hojas en cada tratamiento. ....	54



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	55
4.1 Resultados del proceso de osmosis.....	56
4.1.1 Efecto de la membrana de ósmosis .....	57
4.1.2 Características y uso del agua de rechazo.....	58
4.1.3 Efectos del cartucho de remineralización .....	59
4.3 Características de la instalación de riego y abonado de bajo coste .....	60
4.3.1 Coeficiente de uniformidad del riego.....	61
4.4 Efectos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas .....	64
5 CONCLUSIONES.....	66
6 BIBLIOGRAFÍA .....	68
ANEXOS O APÉNDICES.....	72

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El agua es la principal limitante de la producción agraria en Canarias. La escasez de recursos hídricos naturales en nuestro territorio, y su degradación por sobre explotación, hace que en las últimas décadas haya sido necesario realizar grandes inversiones en tecnologías para garantizar el suministro de agua de calidad aceptable tanto a la población como a los sectores industrial y agrario. Entre estas tecnologías se encuentran tanto aquellas destinadas a optimizar su uso y reducir las pérdidas (conducciones cerradas, riego localizado, p. ej.) como aquellas destinadas a hacer utilizables aquellas fuentes hídricas de baja calidad: aguas residuales urbanas, aguas salobres procedentes de galerías y pozos y agua de mar.

La desalación de las aguas, tanto de mar como salobres, es hoy día imprescindible para garantizar un suministro hídrico adecuado a los cultivos de regadío de nuestra Comunidad Autónoma y, en particular, a la platanera. Las aguas desaladas tienen, sin embargo, características químicas que pueden resultar a la larga dañinas para el suelo agrícola, importante aspecto que aún no ha sido adecuadamente estudiado.

Por otro lado, realizar estudios científicos detallados de estos aspectos requiere habitualmente de instalaciones muy costosas y grandes extensiones de terreno que normalmente no están al alcance de los organismos de investigación locales.

El objetivo este Trabajo ha sido diseñar y poner en funcionamiento una instalación experimental de bajo coste que pueda servir para estudiar los efectos del riego con agua desalada sobre el suelo y las plantas de un cultivo de platanera en invernadero, y que también permita realizar diferentes pre-tratamientos químicos a las aguas desaladas utilizadas.

Una instalación de este tipo posibilita el ensayar de manera rápida diferentes tratamientos de re-mineralización de las aguas desaladas (o diferentes planes de abonado), pudiendo observarse en un período de pocos meses si se producen síntomas de toxicidad o deficiencia en las plantas o cambios notables en las propiedades físicas o químicas del suelo. La evaluación final de los tratamientos así seleccionados deberá hacerse sin embargo en ensayos de campo adecuados con un número suficiente de plantas en condiciones reales de cultivo.

Para conseguir este objetivo principal ha sido necesario alcanzar los siguientes objetivos previos:

- Puesta a punto de un sistema de cultivo de plantas de platanera en invernadero que permita el estudio de la evolución temporal de los parámetros físicos y químicos del suelo, el crecimiento y estado nutricional del cultivo y el análisis del lixiviado tras el riego.
- Instalación de un sistema de desalación de agua con capacidad suficiente para el riego de las plantas objeto de ensayo y que permita su mezcla en distintas proporciones con agua no desalada.

- Estudio de las necesidades de re-mineralización del agua desalada obtenida. Diseño y montaje de instalación para el tratamiento químico de las aguas de acuerdo con esas necesidades.
- Instalación de riego localizado de bajo coste, pero de alta uniformidad de riego
- Evaluación en condiciones de ensayo real de los sistemas diseñados y obtención de resultados preliminares del ensayo.

Este proyecto se in-scribe dentro de los trabajos previstos en el Proyecto de Investigación E5DES “Investigación e innovación hacia la excelencia en eficiencia tecnológica, uso de energías renovables, tecnologías emergentes y economía circular en la desalación” del Programa MAC 2014-2020 (MAC2/1.1a/309).

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 El agua y la producción de alimentos.

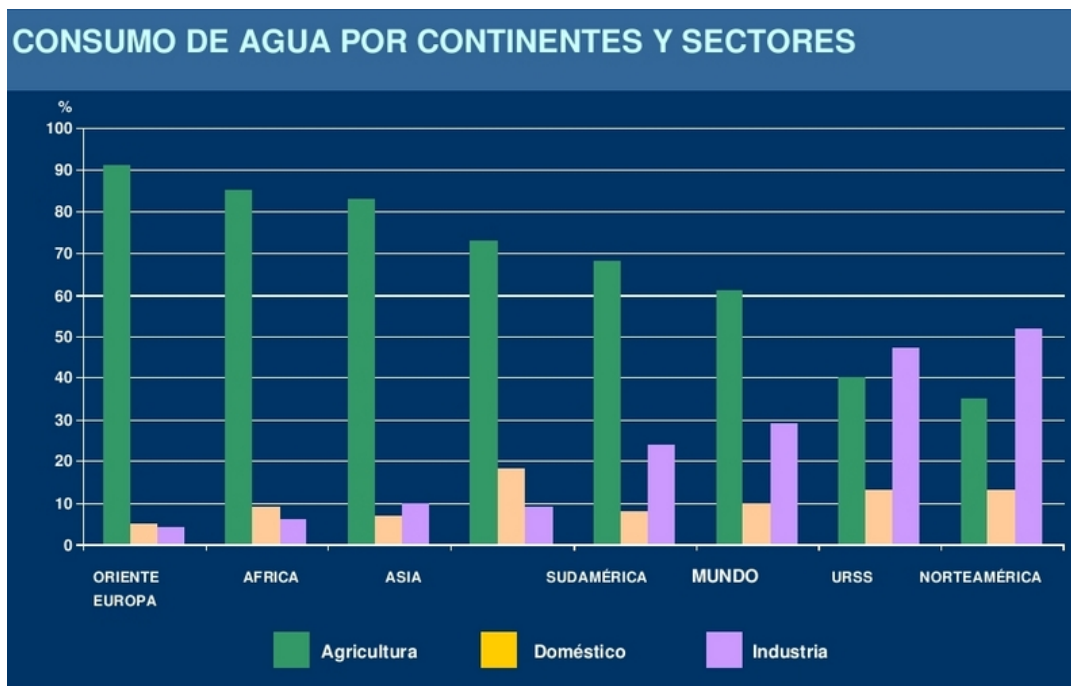
El agua es un recurso vital para la producción agrícola y la seguridad alimentaria. Según la FAO si no cambiamos nuestros hábitos actualmente, la demanda mundial de agua podría crecer en un 50% para 2030. Los recursos de agua dulce disminuyen a pasos agigantados, al mismo ritmo que crece la población mundial al igual que los efectos del cambio climático.

La cantidad anual de agua dulce útil por persona se ha visto reducida en más de un 20% en las últimas dos décadas. Tanto en el norte de África y Asia occidental el agua dulce per cápita ha disminuido en más del 30%, donde el volumen medio anual por persona apenas alcanza los 1000m<sup>3</sup>, cifra considerada como escasez grave de agua, (Máximo Torero, 2021).

El agua consumida a través de los alimentos es mucha más de la que bebemos, según la dieta para producir la comida diaria de una persona se requieren entre 2000 y 5000 litros de agua, es decir, dos tercios de la población mundial podrían vivir una realidad en sus países de estrés hídrico para el año 2025 si continúan los modelos de consumo actuales, (FAO, 2019).

La agricultura es el sector principal de dichas causas a la misma vez que sufre la escasez de agua. Dicho sector representa casi el 70% de todas las extracciones de agua y hasta el 95% en algunos países en desarrollo, (FAO, 2019).

**Gráfica 1.** Consumo de agua por continentes y sectores.



Fuente: FAO. Datos referidos a 1998. Departamento de Urbanismo y Ordenación del territorio (DUyOT). Rafael Córdoba Hernández.

No obstante, y no menos importante es el cambio climático, pues se prevé un aumento de las temperaturas en todo el mundo, esto conlleva a sequías con mayor frecuencia y por ende un incremento de la demanda de agua para los cultivos. No solo hay que mejorar la gestión y uso de este recurso, se deben tomar medidas para recolectar y reciclar nuestros recursos de agua dulce, además de aumentar el uso seguro de las aguas residuales.

La FAO hace hincapié en el desperdicio de alimentos, ya que cuando se desechan estos se está perdiendo toda el agua empleada para su producción, se estima que cada año un tercio de todos los alimentos producidos se pierde o se desperdicia, un volumen de agua equivalente a unas tres veces el volumen de agua del Lago de Ginebra (89km<sup>3</sup>).

El desperdicio de alimentos influye significativamente en el cambio climático mundial, pues según informa la FAO, es responsable del 8% de las emisiones GEI.

Sin ir más lejos, casi el 30% de la tierra agrícola del mundo se utiliza para la producción de alimentos que nunca llegan a ser consumidos, suponiendo un elevado coste ambiental, ya que este desperdicio contribuye a mermar la calidad de las tierras, el volumen de los afluentes de agua y la biodiversidad. La huella hídrica del desperdicio de alimentos consume hasta un 21% del agua dulce en el mundo, (FAO, 2017).

La salinidad de los suelos afecta la producción de alimentos a escala mundial mostrando una tendencia a aumentar en los próximos años.

Se tasan en unos 5-7 millones de hectáreas de tierras cultivadas las que se degradan anualmente, siendo la salinización del suelo el segundo proceso más importante, después de la erosión hídrica, responsable de esta degradación. En las zonas agrícolas con sistema de riego puede llegar a ser el proceso más importante de degradación (Umali, 1993), debido fundamentalmente a factores climáticos, edáficos y sobre todo a un inadecuado manejo del agua de riego (infraestructuras de drenaje no adecuadas, sobre aplicación de aguas de mala calidad y otros).

Se habla de un suelo salino cuando presenta en la solución edáfica, en la zona de desarrollo radicular, una concentración de sales lo suficientemente alta como para influir en el desarrollo de los cultivos (Fuentes, 1989).

El incremento de la superficie de suelos afectados por sales, además de inducida por el hombre con la agricultura intensiva (Dregne, 1976) puede originarse según algunos autores a los cambios climáticos ocurridos en los últimos años (Szabolcs, 1996).

Según este autor los factores más sustanciales que llevan a la salinización secundaria de los suelos en Europa son:

\* El aporte de sales al suelo por medio del agua de riego y el ascenso capilar de agua freática salina.

\* El cambio climático global: Como consecuencia de la acumulación en la atmósfera de CO<sub>2</sub> y otros gases de conocido efecto invernadero, la temperatura media anual aumentará en los próximos 50-70 años, consecuentemente, el índice de aridez también se incrementará, y tendrá lugar una salinización progresiva en los territorios marginales.

\* La elevación del nivel del mar: Se ha asumido, que, debido al cambio climático global, la elevación media del nivel del mar será de 1 cm por año, por lo que el efecto del agua del mar provocará la salinización y penetrará en mayor cantidad en los suelos costeros.

En las zonas áridas donde la cantidad de agua de riego aplicada es mayor y por ende el aporte de sales se agrava el problema. Además, las escasas precipitaciones impiden el lavado de estas, empleando más agua de la necesaria para cubrir la evapotranspirada para así desplazar las sales lejos de la zona radicular (Young y Horner, 1986).

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

Aunque las plantas toleren y a veces requieran ciertos niveles de salinidad para el crecimiento, una salinidad muy alta en la zona radicular reduce el desarrollo de estas. Dicho exceso de sales aumenta la presión osmótica de la disolución y en consecuencia el gasto de energía para poder absorber el agua del suelo, limitando así su desarrollo. (Maas y Nieman, 1978; Läuchli y Epstein, 1990).

Otro problema de la salinización del suelo es la presencia de altas concentraciones de iones en disolución, especialmente el sodio, que puede antagonizar la absorción de otros elementos esenciales como el potasio y el calcio. La elevada concentración de cloruros, sodio y a veces boro, puede tener efectos tóxicos en algunas plantas que muchas veces no son distinguibles de las deficiencias de otros nutrientes (Läuchli y Epstein, 1990).

En definitiva, para que den lugar estos procesos de salinización y/o sodificación es a partir de una fuente externa que aporte sales o sodio al suelo. Este aporte puede ser de origen natural, como es el continuo aporte de sales por los vientos alisios y la maresía en suelos cercanos a la costa, así como la alteración de materiales geológicos (debido a procesos erosivos) que liberan cantidades importantes de sales que se acumulan en el suelo.

Sin embargo, son más importantes los aportes de sales y sodio al suelo, realizados por las actividades del hombre sobre el mismo. La agricultura intensiva y el monocultivo, hace que se produzca un aporte excesivo de fertilizantes inorgánicos (la mayoría de ellos en forma de sales muy solubles),



que aumentan significativamente la concentración salina de la solución edáfica (salinización). Además, el uso de aguas de mala calidad y alta concentración de sodio, contribuyen también de manera destacable a la sodificación del complejo adsorbente del suelo.

El problema es más grave si cabe en el caso de los agrosistemas insulares, donde el plátano se caracteriza por una elevada fragilidad ecológica, económica y social. La política de subvenciones establecida motiva a la obtención de altas producciones al coste que sea, con excesiva utilización de tecnología, agroquímicos y riego, aumentando así el deterioro de los factores de producción, principalmente agua y suelo (Vargas Chávez, 2001).

## **2.2 El agua en Canarias.**

Las aguas subterráneas en Canarias muestran un extenso abanico de calidades, partiendo de aguas bicarbonatadas sódicas o sódicas magnésicas (galerías) o cloruradas/sulfatadas (pozos).

En las zonas costeras predomina a aumentar la concentración en sales solubles, por lo que tienden a ser cloruradas sódicas debido a la sobre explotación de los acuíferos y a la alta intrusión marina, un exceso de sodio en el complejo de cambio frente al contenido de calcio y magnesio es el causante de la sodicidad del suelo. Dicho exceso produce una impermeabilización del suelo, lo que origina problemas de encharcamiento del suelo y falta de aireación del sistema radicular. En general las aguas de galerías son siempre de mejor calidad.

Las aguas sulfatadas son menos frecuentes y sólo aparecen cuando existe algún tipo de contaminación del acuífero, generalmente colgado (urbana, por riegos o volcánica) (Soler y Lozano, 1988).

Las superficies ocupadas por cultivos de platanera coinciden con las zonas más contaminadas, debido a su alta demanda de agua y fertilizantes.

La salinización (concentración de sales solubles que existe en dicho suelo) en los suelos agrícolas de Canarias es una realidad. Esta concentración de sales proviene de distintos orígenes, principalmente por el riego y aporte de fertilizantes, concentrándose como resultado de la evaporación y transpiración de la planta. Debido a esta concentración de sales, aumentará el potencial osmótico del agua del suelo, afectando así a la absorción natural de las plantas para extraer el agua de la solución del suelo en la que se concentran las sales.

Los principales cationes y aniones que componen las sales solubles que dan lugar a la salinidad del suelo son:

Cationes: sodio ( $\text{Na}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ).

Aniones: cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ).

La salinización-sodificación de los suelos en Canarias, no sólo se debe a causas naturales (González et al., 1991), sino que, en el tiempo con el aumento de sistemas tecnificados y mayor regadío se ha agravado la situación debido al indiscriminado uso de aguas salinas de muy baja calidad, las únicas disponibles en muchos casos, debido la continua sobreexplotación de los acuíferos que origina fenómenos de intrusión marina en los pozos costeros (Rodríguez et al., 1991).

Teniendo en cuenta la elevada movilidad de las sales y el sodio en el suelo, se pueden eliminar con facilidad mediante un exceso de agua. Las precipitaciones y los sistemas de riego contribuyen considerablemente al lavado, dando solución a los problemas de salinización y sodificación. Sin embargo, el uso cada vez más generalizado de sistemas de riego localizados que utilizan volúmenes muy bajos de agua, no favorecen la eliminación de las sales de los horizontes superficiales del suelo, sino que solamente las cambia de emplazamiento, llevando así a una salinización oculta a medio plazo de los suelos agrícolas.

En la Figura 1, podemos apreciar el estado de degradación por sodificación que sufren los suelos en Canarias. Expresando en porcentaje de sodio intercambiable. (Morales Matos & Pérez González, 2000).



**Figura 1.** Estado actual de degradación de los suelos por sodificación. Fuente: Morales Matos & Pérez González (2000).

En la Figura 2, observamos la degradación actual por salinidad en los suelos de Canarias. Expresado en función de la concentración de sales, medida en dSm/m (Morales Matos & Pérez González, 2000).



**Figura 2.** Estado actual de degradación de los suelos por salinización. Fuente: Morales Matos & Pérez González (2000).

En 1974 se realizó un estudio sobre las características químicas de las aguas subterráneas de las islas Canarias Occidentales (Fernández-Caldas y Pérez, 1974b). En el territorio central y noroccidental de la isla de Tenerife se encontraron las galerías de mayor concentración iónica de las islas Canarias Occidentales, con valores de conductividad superiores a 1000  $\mu\text{mho/cm}$  y elevadas concentraciones de sodio y bicarbonato. Las aguas de menor concentración iónica total de las Islas Canarias corresponden a los manantiales y galerías ubicados en las zonas Norte y Este de La Palma (Fernández-Caldas y Pérez, 1974b), con valores de C.E. inferior a 100  $\mu\text{mho/cm}$ . El resto de las aguas de galerías de las islas Canarias Occidentales tienen una concentración iónica intermedia, con conductividades comprendidas entre 100 y 500  $\mu\text{mho/cm}$ .

Las galerías tratan de perforaciones horizontales en el interior de la tierra, empleando herramientas manuales antiguamente y ahora con la ayuda de explosivos. Tiene la ventaja de que el agua sale por gravedad. Sus longitudes son variables según se ubique el acuífero a explotar, los caudales dependen del volumen de agua que contiene el mismo. La sobre explotación de estos a secado numerosos acuíferos o reducido su caudal hasta el punto de que no es rentable su extracción.

En cuanto a las características más sustanciales de las aguas procedentes de galerías, utilizadas para el abastecimiento de cultivos:

- Alta CE y pH (normalmente  $\text{pH} > 8$ ).

- Altas concentraciones en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$
- Bajas concentraciones de los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{K}^+$ .

Otro modelo para la extracción del agua es mediante pozos, al contrario que las galerías se tratan de perforaciones verticales hasta llegar al acuífero, no son de mucha profundidad y es más costoso ya que hay que elevar el agua media bombas. La sobreexplotación de estos ha ido limitando la cantidad de agua y como consecuencia a estas profundidades, sumado a la cercanía del nivel freático se ve favorecida la intrusión de agua marina.

La composición química de las aguas de pozo depende de la cota en la que se encuentren respecto al nivel del mar. Los pozos situados más altos trabajan con aguas de menor concentración iónica total, al contrario que los pozos más cercanos a la costa donde la concentración iónica total es elevada.

Respecto a las características más habituales de las aguas de pozo utilizadas para el riego.

- Alta CE y un pH en la neutralidad.
- Altas concentraciones de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ .
- Bajas concentraciones de  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$ .

**Tabla 1.** Manantiales, pozos y galerías en las Islas Canarias.

Islas	Manantiales		Pozos productivos		Galerías productivas		Volumen total (Hm³)
	Nº	Volumen (Hm³)	Nº	Volumen (Hm³)	Nº	Volumen (Hm³)	
Gran Canaria	8	0,10	2.100	70,00	80	25,40	95,5
Fuerteventura	5	0,05	37	3,00	1	0,05	3,1
Lanzarote	8	0,01	---	---	3	0,20	0,21
Tenerife	25	0,30	275	40,00	990	160,00	200,30
La Palma	175	9,00	231	20,00	80	41,00	70,0
La Gomera	387	6,50	100	2,50	5	0,30	9,30
El Hierro	16	0,01	8	1,50	---	---	1,51
<b>TOTAL</b>	<b>622</b>	<b>15,97</b>	<b>2.751</b>	<b>137,0</b>	<b>1.159</b>	<b>226,95</b>	<b>379,92</b>

Fuente: Plan Hidrológico de Canarias (2000).

### 2.3 La desalación de agua por osmosis inversa

La desalación de agua es importantísima en este Archipiélago de manera que en el caso de Lanzarote y Fuerteventura, el 100% de su agua potable viene de agua desalada. En las Islas más occidentales, sin embargo, es menor este porcentaje, al tener otros recursos hídricos como las galerías o pozos.

Actualmente, existen tres principales procesos de postratamiento para estabilizar efluentes de ósmosis inversa (RO):

- (1) Procesos que se basan en la dosificación directa de productos químicos (p. ej. dosis de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  seguida de  $\text{CO}_2$  (g))
- (2) Procesos que se basan en mezclar el agua desalada con otras fuentes de agua, con o sin mayor ajuste de los parámetros de calidad del agua
- (3) procesos que se centran en la disolución  $\text{CaCO}_3$  (s) (típicamente calcita) para alcalinidad y suministro de  $\text{Ca}^{2+}$  seguido de un ajuste de pH (y CCPP) con NaOH

Los dos primeros grupos se practican con menos frecuencia porque (1) la dosificación directa de productos químicos suele ser cara y (2) cuando el agua desalada se diluye con otras fuentes de agua por lo general, la dosificación

adicional de productos químicos se vuelve inevitable, si todos deben cumplirse los criterios. Por tanto, el tercer grupo de procesos se convierte en el más rentable

### **2.3.1 Agua desalada en la agricultura.**

La desalación comenzó a finales del siglo XIX, aunque desde siempre la desalación ha existido de manera natural, mediante el proceso de evaporación del agua del mar en el ciclo hidrológico. Actualmente, el proceso de desalinización del agua se lleva a cabo en las plantas desaladoras. Dicho proceso pasa por varias fases:

Captación del agua salobre.

Pretratamiento: en esta fase se ajustan las características fisicoquímicas y biológicas del agua recogida para las plantas de desalación.

Desalación: es la fase principal y se aplican técnicas de desalación mediante membranas o a través de la destilación o evaporación.

Postratamiento: es el tratamiento que se aplica en las aguas desaladas para corregir la dureza y la alcalinidad baja que se genera en las anteriores fases.

La tierra en su mayor parte está ocupada por agua, aproximadamente el 70% de la superficie. El 97,25 % de esa agua se encuentra en los océanos, un 2,05 % se encuentra en los glaciares y en forma de hielo, el 0,68 % se encuentra en las capas del subsuelo, en los lagos un 0.01 % y en ríos y arroyos un 0.0001% (Physical Geography, 2017). El agua que se emplea para la agricultura es menos de un 1%, aunque sea un recurso abundante la calidad para el uso de riegos es limitada.

Países como Emiratos Árabes, Libia, Kuwait, Qatar, Estados Unidos, Japón, España e Israel utilizan en gran medida la desalinización de agua. Destacando Arabia Saudí donde cuatro de los cinco litros que consumen procede de agua desalada.

En España se inaugura la primera planta desalinizadora de Europa en las islas Canarias, en el año 1964 y se situó en Lanzarote. Posteriormente, en el año 1993 se puso en marcha la primera instalación de osmosis inversa en Cabo de Gata (Fundación Aquae, 2017).

El sistema de desalinización que más se ha extendido es la osmosis inversa debido a sus bajos costes de producción y consumos energéticos respecto a otras técnicas (Martínez Beltrán y Koo Oshima, 2006).

Alguna de estas aguas una vez obtenidas tras el proceso de OI no reciben ningún tratamiento posterior (aguas de muy baja remineralización), otras si reciben tratamientos posteriores de remineralización.

**Tabla 2.** Ventajas e inconvenientes del agua marina desalinizada sobre los cultivos.

Ventajas	Inconvenientes
<b>Disponibilidad inagotable del recurso hídrico</b>	Elevado consumo energético Emisiones de efecto invernadero
<b>Baja salinidad del agua</b>	Carencias y desequilibrios nutricionales de las aguas Elevada concentración de Boro Elevada acidez y poder corrosivo La calidad de agua para el riego no está regulada

Fuente: Martínez Álvarez y Martín Górriz, (2014).

El riego se estima que extrae el 70% de agua dulce a nivel mundial y se usa el 80-90 % del agua dulce (Foley et al., 2011). Hay autores que indican que los recursos de agua dulce pueden llegar a ser insuficientes para satisfacer las demandas agrícolas (Bar-Tal et al., 2017)

Israel y España destacan como los países más desarrollados sobre la utilización de agua desalinizada. Aún en España no hay estudios con periodos de tiempo representativos del uso de este tipo de agua en cultivos. Posiblemente porque en muchos casos solo se aprovecha en periodos de carencia de agua y por ello no es constante (Zarzo et al., 2013).

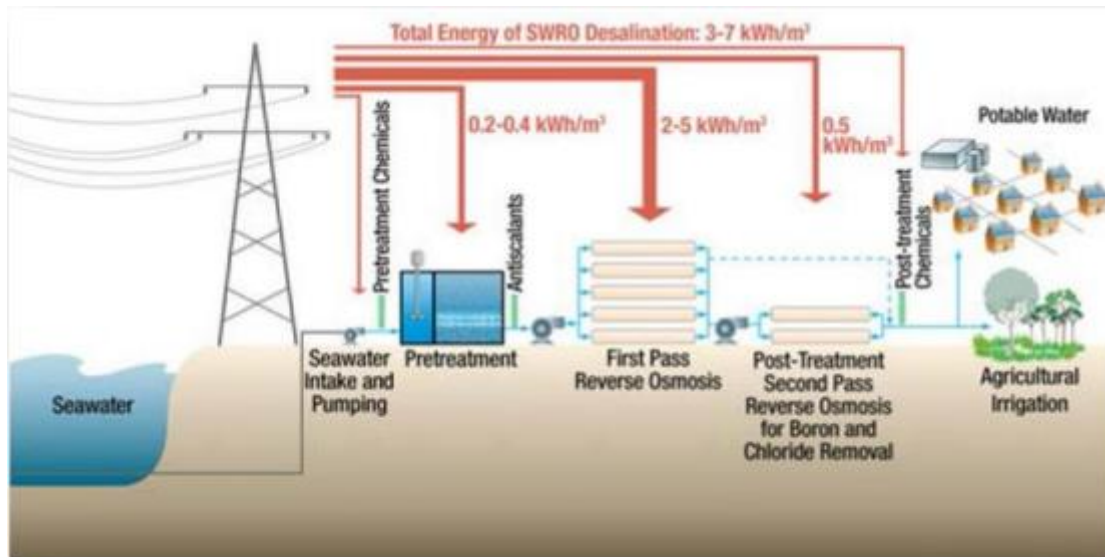
Muy pocos estudios, para nuestro conocimiento, se han realizado en la solución de la mezcla de aguas desalinizadas como opción a la mejora de la calidad de agua y la rentabilidad. Ben –Gal et al. (2009)

En el transcurso del tiempo, la tecnología procedente de los procesos de ósmosis inversa (OI) han evolucionado mucho hasta el punto de ser la técnica más monopolizada en las plantas desalinizadoras. La ósmosis es un proceso natural que sucede en todas las células vivas, haciendo que el agua fluya de zonas más puras a zonas de mayor concentración de sales hasta que su potencial hídrico ( $\psi_h$ ) se compense. La OI invierte este proceso natural y hace que aplicando una presión superior a la presión osmótica del agua salada y pasándolo por una membrana semipermeable se obtiene el agua libre parcialmente de sales.

En el proceso de ósmosis inversa se eliminan entre el 90-100% de todas las sales, siendo el boro la que menos con un 75% (Hernández 2003.)

Sin embargo, esta técnica asumen unos consumos energéticos muy elevados (en torno a 4 kWh m<sup>-3</sup> para agua marina) en comparación con otras fuentes como el trasvase Tajo-Segura que consume 1,2 kWh m<sup>-3</sup> (Melgarejo y Montano, 2011). Debido a este mayor consumo energético se produce elevada

emisión de gases de efecto invernadero, que dificultan notablemente la lucha contra el cambio climático (Martin-Gorriz et al., 2014).



**Figura 3.** Energía específica consumida ( $\text{kWh m}^{-3}$ ) en una instalación de desalinización de agua marina con doble paso, con el fin de suministrar agua adecuada para riego agrícola. Los rangos dependen de la calidad del agua suministrada, tamaño de la planta, uso de elementos recuperadores de energía y otros factores. Fuente: (Shaffer, et al., 2012)

En la Tabla 3 se muestra la eliminación de las sales en una planta desaladora. En todos los casos el rendimiento para la eliminación de las sales se encuentra en valores del por encima del 90 % y muy cercanos al 99%, excepto en el Boro que se encuentra en valores cercanos al 76%. Si se observa la proporción de las sales de cada agua (entrada y salida) tienen un perfil muy parecido, aunque en el agua desalinizada (salida) los porcentajes de sulfatos, calcio y magnesio se encuentran en valores un poco inferiores. Los cloruros y potasios más o menos se mantienen constantes. Sodio y Boro aumentan, sobre todo el Boro.

El bicarbonato aumenta también considerablemente respecto al dato relativo. El pH del agua salina varía entre 7,5 y 8,4 en función de temperatura y profundidad entre otros factores y el pH de la salida suele tener valores entre 4,2 y 6,2, es decir, más ácidos que el agua de mar. Estos desajustes en las sales que se obtienen en el agua osmotizada (salida) hace que se “coloque” el agua en valores que no son deseables para la agricultura. Además es importante considerar que parte de las sales, que las aguas continentales tienen, funcionan como nutrientes para las plantas por lo que supondría un coste adicional su incorporación (Ben-Gal, et al. 2009). Posteriormente a la OI se suele realizar una remineralización del agua procedente de las membranas el contenido de sales y pH se reajustan



**Tabla 3.** Rendimiento medio de las membranas de ósmosis inversa en plantas desaladoras.

Variable	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)	Rendimiento (%)	Entrada (% de sales respecto al total)	Salida. (% de sales respecto al total )
<b>STD</b>	<b>35079</b>	<b>367</b>	<b>99.0</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Sulfatos	2712	11	99.6	7.7	3.0
Magnesio	1290	6	99.5	3.7	1.6
Calcio	412	2	99.5	1.2	0.5
Potasio	399	4	99.0	1.1	1.1
Cloruro	19354	208	98.9	55.2	56.7
Sodio	10770	128	98.8	30.7	34.9
Bicarbonatos	142	8	94.4	0.4	2.2
Boro	4.5	1.1	75.6	0.01	0.3

Fuente: Hernández, (2007).

La calidad de agua para el riego de cultivos ha sido estudiada considerablemente. En el año 1985 la FAO publica unos estándares (Tabla 4) en los cuales los cultivos se desarrollan de forma óptima, dependiendo de la especie a cultivar (Ayers y Westcost, 1985).

**Tabla 4.** Valores Normales de Análisis de agua de riego según FAO.

VARIABLES	UNIDADES	RANGO
<b>SALINIDAD</b>		
Conductividad Eléctrica	CE (dS/m)	0-3
Total de sólidos en solución	ST (mg/l)	0-2000
Calcio	meq/l	0-20
Magnesio	meq/l	0-5
Sodio	meq/l	0-40
Carbonatos	meq/l	0-0.1
Bicarbonatos	meq/l	0-10
Cloruros	meq/l	0-30
Sulfatos	meq/l	0-20
<b>NUTRIENTES</b>		
Nitrógeno (Nitrato)	mg/l	0-10
Nitrógeno (Amonio)	mg/l	0-5
Fósforo (Fosfato)	mg/l	0-2
Potasio	mg/l	0-2
<b>OTROS</b>		
Boro	mg/l	0-2
pH	-	6-8.5
RAS	-	0-15

**Fuente:** Ayers y Westcost, (1985).

Comparando la tabla 3 y 4 se puede comprobar el agua procedente de las desaladoras es apta para el riego. Sin embargo, hay que tener en cuenta otros aspectos a la hora de su uso como la especie a cultivar, sus tolerancias, el sistema de riego y a partir de ahí ajustar la calidad de agua requerida.

En conclusión, la desalación ha posibilitado en los últimos 50 años el asentamiento poblacional, el crecimiento en turismo y el desarrollo agrícola en zonas áridas.

### 2.3.2 Necesidad de remineralización

La fase de remineralización del agua se realiza principalmente para reducir la corrosividad del agua e implica un aumento de pH, la alcalinidad (bicarbonatos y carbonatos) y el contenido de calcio (Hernández 2017b).

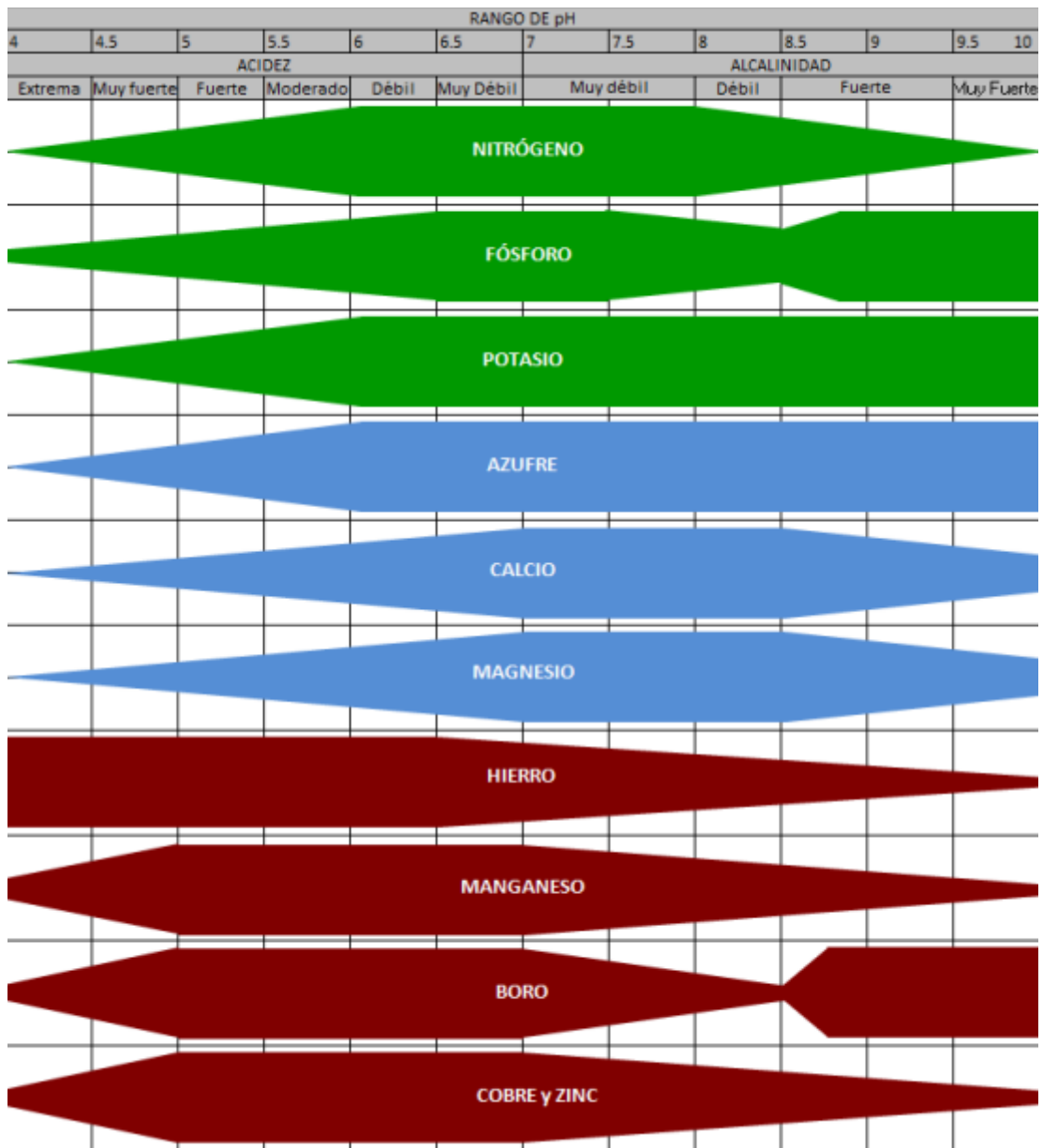
Pocos estudios y formación encontramos sobre la mezcla de aguas desalinizadas como alternativa a la mejora de la calidad de agua y su rentabilidad. Ben –Gal et al. (2009) hace un estudio en Israel sobre el pimiento y llegan a la conclusión que el aumento de producción empleando un agua de

0.40 dS/m (desalinizada) frente otra fuente de agua de 3.20 dS/m es de más de un 50 %. Recomiendan que el agua desalinizada debe ser remineralizada con calcio, magnesio y azufre, suponiendo un coste añadido de 3500 €/ha convirtiéndolo en una opción poco viable. Dichos autores llegan a la conclusión tras un estudio que mediante la mezcla de aguas 70 % de agua desalinizada y 30 % salina que produciría un agua de 1.35 dS/m donde la rentabilidad y desarrollo del cultivo sería el óptimo.

Realmente el objetivo principal de la remineralización es ayudar al cumplimiento de la normativa de la UE regulada por el RD 140/2003 de agua para abastecimiento (Hernández 2010). El agua desalada destinada para el abastecimiento de la población (única agua con unas regulaciones, pues la que se destina a riego no existe tal regulación) tiene que ser estable en contacto con la atmósfera y por ello precisa la remineralización.

En el agua para cultivos, la remineralización aumenta el contenido de calcio respecto al sodio con lo que pasa a ser más beneficiosa para terrenos y cultivos al modificarse la Relación de Absorción de Sodio (SAR). El SAR en agua osmotizada está entre un 9-12, siendo así un problema para suelos y cultivo debido al sodio. El agua remineralizada ofrece un SAR menor y por ende reduce los problemas debido al sodio. (Hernández Suárez, 2003).

Sin embargo, se debe tener en cuenta que la remineralización involucra una subida de pH superior a 7,5-8, por lo que puede afectar a la absorción radicular de microelementos, sustancialmente al hierro. La remineralización para la mejora de aguas de regadío es recomendable emplear H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en vez de CO<sub>2</sub> (Hernández, 2017b) al obtenerse un pH más bajo que facilita la absorción de otros microelementos (Fig.4) En la Tabla 5 se muestran los valores de las características del agua tras el proceso de la remineralización.



**Figura 4.** Disponibilidad de nutrientes para las plantas en función del rango de pH (Moratiel, 2017).

**Tabla 5.** Valores medios de propiedades químicas del agua tras el proceso de remineralización. (Hernández 2017a)

AGUAS	pH	CE (dS/m)	Iones (mg/L)						
			Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Sin remineralizar	6.3	0.75	84.50	4.00	1.00	2.30	157.00	3.60	2.56
Remineralizado con CO <sub>2</sub>	8.0	0.85	84.50	4.00	23.00	2.30	157.00	3.60	70.00
Remineralizado con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7.4	0.85	84.50	4.00	59.00	2.30	157.00	3.59	42.62

Como podemos ver en la tabla 5, tras el proceso de remineralización se modifica en mayor medida el contenido en Ca del agua, por otro lado, el Mg y SO<sub>4</sub> no varían.

## 2.5 La platanera en canarias.

El cultivo de la platanera (*Musa spp.*) hoy en día es una potencia a nivel mundial, solo superado por el arroz, trigo y el maíz. Según la (FAO,2001) su producción anual se establece en unos 95 millones de toneladas.

Plátano de Canarias es la marca institucional bajo la cual se comercializan los plátanos cultivados en las islas, la marca es gestionada por la Asociación de Organizaciones de Productores de Plátano de Canarias (ASPROCAN). Se trata del cultivo más importante de Canarias y supone gran parte del crecimiento económicos de las islas (La Palma, Tenerife, Gran Canaria, La Gomera y el Hierro).

En Canarias se cultivan principalmente plátanos del grupo Cavendish, es decir, cultivares triploides de *Musa acuminata* identificados en la terminología de variedades de plátano con las letras AAA (tres juegos de cromosomas procedentes de *M. acuminata* y ninguno de *M. balbisiana*). Son frutos de tamaño medio, piel amarilla delgada con características motitas y que son aptos para consumirse crudos. Algunos de los cultivares más plantados son Gran Enana, Zelig y Gruesa Palmera, este último una selección canaria de Cavendish Enano.

Actualmente el comercio del plátano sufre una gran competencia comercial, aunque la producción de plátanos de Canarias, Madeira y Martinica, como los países ACP (África, Caribe y Pacífico), gozan de preferencia en la comercialización en los mercados de la UE para limitar al resto exportadores a nivel mundial, y que no sobrepasen el 50% del mercado comunitario. como respuesta las grandes multinacionales americanas exportan el banano a Europa mucho más barato, poniendo en riesgo el plátano de Canarias en el mercado.

## **2.6 Estudios sobre el uso de agua desalada en platanera y en la agricultura canaria.**

La limitación de recursos hídricos naturales, debido principalmente a la ausencia de precipitaciones suficientes y el deterioro de la calidad del agua de riego, requiere la búsqueda de recursos alternativos, principalmente en zonas áridas y semiáridas. La desalación de agua de mar está muy presente en numerosas regiones donde el agua escasea.

Según un estudio de Álvarez-Mendez et al.(2021) para investigar los efectos de la mezcla de agua dulce y agua de mar desalinizada sobre cambios de nutrientes minerales en cultivos, un sistema experimental a partir de plantas AAA de *Musa acuminata* se realizó en Frontera (El Hierro, Islas Canarias).

Con esto se mostró que los cultivos de plátano regados con una mezcla de agua dulce y desalada mostraron un adecuado estado nutricional y no sufrieron daños por iones de sal (Na y Cl) o toxicidad por B. Es más, las plantas pueden tolerar concentraciones más altas de estos elementos y un mayor suministro de los otros micronutrientes esenciales.

Por lo tanto, según los resultados obtenidos en este estudio sugieren que el riego de cultivos con una combinación de agua dulce y desalada es una buena estrategia para afrontar a los altos requerimientos de agua, al menos bajo las condiciones experimentales probadas. Dicha estrategia podría ser muy útil en regiones áridas, así como en otras zonas donde las precipitaciones son estacionales y escasas, como el Mediterráneo o Canarias.

La platanera es un cultivo muy sensible a la salinidad, a partir de concentraciones de 500ppm de sales solubles en extractos saturados (0,78dS/m) se consideran como tóxicos por algunos autores (Wardlaw, 1961). Maas y Hoffman (1977), Maas (1984) y FAO (1985b). Por ello, recomiendan en este cultivo trabajar con CEes inferiores a 1dS/m.

En definitiva, los suelos con altas concentraciones de sales producen clorosis marginal que deriva en necrosis, mal crecimiento y fruta fina y deformada. Aplicar riegos en profundidad con agua de buena calidad ayuda a reducir los problemas con las sales (Lahav y Tumer, 1992).

Se ha encontrado que el 80,8% de los suelos de platanera muestran CEes superiores a 2 dS/m y un 25,5% de los mismos tienen CEes por encima de 6dS/m, sin que se reflejen modificaciones derivadas de la alta salinidad en la solución edáfica. (Vargas Chávez, 2001).

**Tabla 7.** Disminución potencial de la producción

	<b>Valores de CEes para la disminución Potencial de la Producción</b>				
<b>Cultivo</b>	<b>0%</b>	<b>10%</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>
<b>Papa</b>	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
<b>Pimiento</b>	1,5	2,5	3,8	5,9	8,6
<b>Tomate</b>	2,5	3,5	5,0	7,6	12,5
<b>Viña</b>	1,5	2,5	4,1	6,7	12,0
<b>Zanahoria</b>	1,0	1,7	2,8	4,3	7,4
<b>Platanera</b>	Recomendado suelos con CEes < 1 dS/m				

Fuente:Maas

s y Hoffman (1977), Maas (1984) y FAO (1985b).

Además, la platanera es altamente sensible al sodio y puede sufrir toxicidad por este elemento con cifras a partir del 2 al 10% de PS<sub>lc</sub> (Pearson, 1960). El suelo dedicado a este cultivo debe de tener un PSI menor del 4% y no superior al 12% Delvaux (1996). Según (Chávez,2001) El 56,1 % de los suelos de platanera muestreados en su estudio presentan PS<sub>lc</sub> superiores al 4 % y un 7,3 % valores superiores al 12 %.

En Canarias se ha observado como los elevados niveles de sodio llegan a reducir la capacidad de absorción de potasio por parte de la planta, reflejándose en la reducción del perímetro del pseudotallo y por ende en su producción (García et al. 1976).

Por otra parte, hay una estrecha relación entre la salinidad y sodicidad del suelo con los sistemas de riego, pues el buen uso y manejo de este influirá en la degradación del suelo.

Según (Vargas Chávez, 2001), los riegos localizados de alta frecuencia, concretamente el goteo, es el sistema que produce una mayor salinización en los suelos de regadío en Canarias, donde el cultivo del plátano llega a alcanzar un 50% con conductividades en el extracto de saturación comprendidas entre 4 y 8 dS/m.

**Tabla 8.** Análisis del PSIC del suelo, según los sistemas de riego en cultivos de plátano

<b>S.Riego</b>	<b>Nº</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>DS</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Manta</b>	11	2.9	2.9	1.4	0.3	5.3
<b>Aspersión</b>	13	3.9	4.1	3.5	0.1	12.7
<b>Goteo</b>	12	7.0	7.8	4.8	0.0	14.7
<b>Microaspersión</b>	5	10.8	8.6	7.7	4.5	23.8

**Nº** Número de muestras **DS** Desviación estándar

Fuente: Vargas Chávez (2001).

El uso de estos sistemas y su localización cercana al sistema radicular, hacen que la solución edáfica en esta zona presente una elevada dilución, sin verse afectada la absorción de agua y nutrientes por parte de las raíces. Al no verse afectadas las producciones el agricultor no presta la atención al auténtico problema, pues las sales expulsadas de la zona próxima al sistema radicular continúan en el suelo acumulándose en las porciones de terreno ubicado entre los goteros y llevando así a una salinización oculta del suelo y su posterior degradación a medio o largo plazo.

Según algunos estudios el precio más alto del agua desalada comparada con otras calidades de agua (como por ejemplo las aguas depuradas) probablemente sea la principal limitación para su mayor expansión. Una de las ideas para reducir este costo podría ser el uso de energía eólica para alimentar plantas de desalinización

No obstante, también se comprobó en la investigación que las mezclas de aguas mediante la combinación de agua desalada con aguas subterráneas o aguas depuradas puede mejorar con éxito las características del agua y reducir la degradación del suelo, (Monterrey- Viña, 2020).

## **2.7 Sistemas de riego localizado de bajo coste. Utilidad para la experimentación.**

El sistema de riego tradicional en el Archipiélago ha sido el riego por inundación (a manta), que en los últimos años se ha ido reemplazando por otros sistemas más eficientes (cantidad de agua que llega a la zona radicular, respecto del total de agua aportada por el riego). En la actualidad se estiman en unas 9.000 ha (30% de la agricultura de regadío) las superficies que poseen sistemas de riego por difusión o localizado. El cambio de un sistema de riego a otro de mayor eficiencia produce un ahorro medio que puede cifrarse hasta un 30% al pasar de un riego a manta a un sistema por goteo (Pérez, 1992).

Son muchos los diseños de riego por goteo que se han desarrollado en distintos países. Todos ellos actúan de forma similar, ubicando un depósito a poca altura del suelo (0,5-2m), una tubería principal a la salida del depósito en



la que se instala un filtro y alguna válvula, y una o varias tuberías laterales de riego de corta longitud. Para formar estos laterales se emplean tuberías emisoras comerciales (Typhoon, T-Tape, etc) o tuberías de polietileno de pequeño diámetro (12-16 mm), donde se insertan microtubos de escasa longitud (15-30 cm). El diámetro interior del microtubo es de 1 o 1,5 mm.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

### 3.1 Situación

El desarrollo del estudio y su puesta en marcha se llevó a cabo en la época de primavera-verano en el curso 2020-2021. El lugar del ensayo fue el invernadero experimental de Caja Canaria, tipo canario y de cubierta de policarbonato se sitúa en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería en la Sección Ingeniería Agraria de la Universidad de La Laguna. Ubicado en el Camino San Miguel de Geneto, en el municipio de San Cristóbal de La Laguna.

La zona de trabajo se encuentra 549m sobre el nivel del mar. Como coordenadas:

Latitud: 28° 28´ 46,05 N

Longitud: 16° 19´ 07,74" O



**Figura 5.** Ubicación del invernadero.

### 3.2 Contenedores de cultivo.

Se disponen de 24 contenedores (2 bloques de 12) con una capacidad de 300L, en el fondo de estos se añadirá una capa de unos 5-10cm de picón para favorecer la filtración y que no se sature el punto de salida del agua drenada, el resto de sustrato será de tierra. Se seguirá una proporción de 1 planta/contenedor. Los contenedores están perforados al fondo y tienen adaptados una manguera para recoger los lixiviados.



**Figura 6.** Depósitos y sustratos.

### **3.3 Suelo**

La tierra empleada para el ensayo fue extraída de la finca Tahonilla Alta ubicada sobre la propia Facultad.

Teniendo en cuenta que las raíces del plátano tienen un poder de penetración muy débil se requieren de suelos francos-arcillosos como este para favorecer el desarrollo y la nutrición de las raíces.

En cuanto a las características hídricas propias del suelo, conforme a su estructura y porosidad estamos ante un suelo aireado y de fácil drenaje, además su contenido en arcilla ayuda a retener agua suficiente para el propio consumo de la planta en el tiempo.



LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO AGRÍCOLA

Tfno. 922 59 69 03 ext. 2

correo electrónico: laboratorio@canariasexplosivos.es

CANARIAS EXPLOSIVOS, S.A.

código artículo 8844

Número de registro: 29210 Identificación: Invernadero

Solicitante: ETSI Agrícola

### ANÁLISIS BÁSICO DE TIERRA

Determinación	Unidades	Resultado
Materia orgánica	%	2,07
Fósforo Olsen	mg / kg	38
Calcio cambiable	meq / 100 g	15,2
Magnesio cambiable	meq / 100 g	10,9
Sodio cambiable	meq / 100 g	1,9
Potasio cambiable	meq / 100 g	3,2
pH de la pasta saturada (pasta saturada a 46 %)	-	8,3
Conductividad eléctrica 25°C	dS / m	0,5

Santa Cruz de Tenerife, a 18 de junio de 2021

Fdo. Jefe del Laboratorio  
José Luis Cruz García  
Lcdo. Ciencias Químicas, col. 448 Canarias

Figura 7. Analítica de suelo por Canarias Explosivos, S.A.

### 3.4 Planta de desalación

El proceso de ósmosis consiste en la generación de una presión de filtración en las diferentes etapas de tratamiento, incluyendo la membrana de ósmosis inversa. Esta contrapresión favorece a realizar un proceso de osmotización del agua, separando los componentes tóxicos del agua mediante las membranas semipermeables y vertiendo este concentrado al agua de rechazo.

Las plantas de ósmosis inversa domésticas poseen un fácil funcionamiento, el agua pasa por diferentes fases de filtración, pues cada una de ellas elimina diferentes concentraciones del agua:

- **Primera Etapa - Filtro de sedimentos**

Aquí empieza el proceso de filtración, eliminando sedimentos de 5 micras de tamaño (0,005 milímetros), tales como arenilla o granitos de cal suspendida en el agua.

- **Segunda Etapa - Filtro de Carbón Activo Granulado**

En la siguiente etapa de filtración de carbón activo, en forma de grano es el encargado de eliminar las partículas de cloro, olores, sabores fenol y otros contaminantes orgánicos que se encuentran en el agua de nuestros hogares.

- **Tercera Etapa - Filtro de Carbón Activo en Bloque**

A continuación, se procede a una filtración se hace más meticulosa también con carbón activo, pero esta vez en polvo. Esta es la encargada de exterminar los restos de cloro, impurezas orgánicas y pesticidas.

- **Cuarta Etapa - Membrana semipermeable**

Ahora el agua pasa por una membrana semipermeable, capturando hasta un 97% de componentes disueltos en el agua, entre los que predominan los metales pesados, bacterias, residuos, etc.

La planta de ósmosis inversa está formada por:

- 1- Un punto de entrada para el agua a tratar
- 2- Un primer filtro añadido particularmente para aumentar la vida útil de los siguientes filtros.
- 3- Encontramos 3 filtros verticales por donde pasa el agua de derecha a izquierda, en cada filtro encontramos membranas distintas
- 4- El agua una vez filtrada pasa al instrumento de ósmosis.
- 5- En la toma de salida de agua osmotizada añadimos una manguera que transporta dicha agua hasta el depósito de 1000L.
- 6- El agua desechada tras todo el proceso se recoge a parte para ser aprovechada por otros compañeros en su TFG.

Cabe destacar, que se quitó el filtro de remineralización debido a que la diferencia de minerales teniendo el filtro instalado y sin él en las analíticas



era mínima y por ello se decidió sacar. Al igual que la bomba, nos privamos de su uso ya que disponemos de suficiente presión de entrada.



**Figura 8.** Planta de ósmosis y sus partes.

En cuanto a su producción, de agua desalada procesa un volumen de 112 cm<sup>3</sup> en 14,09s, es decir, 28,6l/h. Para ello se mantiene en funcionamiento durante toda la mañana de 8:00 a 13:00 de lunes a viernes para asegurar estar abastecidos durante las dos jornadas de riego (lunes y viernes). Con esto nos aseguramos una producción de 715l de agua desalada semanal, en caso de requerir más agua se aumentan las horas de funcionamiento de la planta.

El agua rechazo sería menor, 89cm<sup>3</sup> en 14,29s (22,4l/h), hablamos de un 55% frente a un 45% respectivamente.

### 3.5 Sistema de riego.

En primer lugar, se diseñó y ejecutó la instalación de riego, en ella se estuvo trabajando desde el 24 de marzo. Para ello, en la parcela continua a donde se sitúa la planta se realizó la instalación para el riego, destacar que dicha parcela se encuentra a unos 2m de diferencia positiva sobre el cultivo, dándonos así la posibilidad de regar por gravedad.

Se trata de una instalación de bajo coste. Para ello hemos empleado una estructura metálica para darle más altura a los depósitos y así asegurar la presión en los goteos.

La instalación está equipada con 4 depósitos de 200L y 1 de 1000L. Los depósitos de 200L serán los usados para almacenar las distintas aguas de riego y el de 1000L ocupará el agua desalada por la planta de ósmosis.



**Figura 9.** Instalación de bajo coste.

Se han adaptado codos a la salida de los 4 depósitos con diámetro de 32mm, para posteriormente conectar una manguera de polietileno de forma vertical, antes de llegar al suelo se respetó un margen para añadir un filtro, además de un reductor de 16mm para seguir la prolongación con mangueras de 16mm,



Para la aplicación del riego se usan microtubos de 1,8 mm y 50 cm de largo.



**Figura 10.** Microtubo conectado a un lateral.

He de destacar que el agua origen con la que se va a trabajar es la usada para riego en los invernaderos donde nos situamos. Tomamos una acometida a la que le pusimos una manguera de 25mm y la llevamos hasta la planta de ósmosis.

Debido a la variación de las descargas de los emisores, unas plantas toman más agua que otras. En cuanto a un buen diseño, es vital asegurar que proporcione el suficiente caudal para regar adecuadamente las plantas que menos agua reciben (Keller y Karmeli, 1975).

### **3.6 Sistema de abonado y pretratamiento**

Siguiendo las recomendaciones de cultesa transcurridos los primeros quince días de la plantación, iniciamos la fertilización. Abonando la planta durante los dos primeros meses con un equilibrio 1:1:1 y 0,25 de Calcio, es decir 0,5gr/L de 19-19-19

Respecto a los tratamientos utilizados en este estudio, se emplearo dos tipos

#### **3.6.1 Agua testigo**

El agua testigo utilizada en el ensayo como tratamiento 1, es el agua que circula por las tuberías de la Sección de Ingeniería Agraria que es suministrada para el riego agrícola de la misma. Dicha agua tiene origen en el canal Unión del Norte. Unión del Norte es una comunidad de aguas creada con el objetivo de la distribución y aprovechamiento de las aguas subterráneas que se obtienen a través de galerías y pozos repartidos por la zona norte de Tenerife, desde La Orotava hasta San Cristóbal de La Laguna. Distribuyen esta agua mediante su gran red de canales, suministrando el agua para el abastecimiento urbano y la agricultura, siendo esta comunidad, una de las más importantes de

la Isla. Esta agua procede de galería o de pozos dependiendo de su caudal. El agua se extrae a través de galería si el caudal es suficiente, si no es así, se obtiene tanto de galería como de pozo.

En la Sección Ingeniería Agraria, el agua se almacena en un estanque situado a unos 400 m aproximadamente, en la finca llamada Tahonilla Alta.

En cuanto a las características de la analítica realizada por Canarias Explosivos, S. A. (figura 16) se puede observar que el agua testigo tiene, en general, unos valores considerados normales para un agua de riego. Teniendo un pH alto de 9, Conductividad Eléctrica de 1.03mS/cm, sales disueltas 0.72 g/l y unos parámetros de aniones y cationes usualmente normales.

### **3.6.2 Agua desalada**

El agua desalada se consigue a través del proceso de desalación. Con este proceso se elimina la sal del agua, tanto de agua marina como de cualquier otro tipo de agua como es en nuestro caso el agua del canal Unión del Norte.

En el ensayo el tratamiento 2 trata de la canal desalinizada. Para ello se empleó una planta desaladora de pequeño tamaño.

## **3.7 Datos climáticos durante el ensayo**

Durante la realización del ensayo se tomaron las temperatura y humedad relativa emitidas por AgroCabildo mes a mes durante todos los meses que duró el mismo. A continuación, se procede a describir cada uno de los datos climáticos señalados.

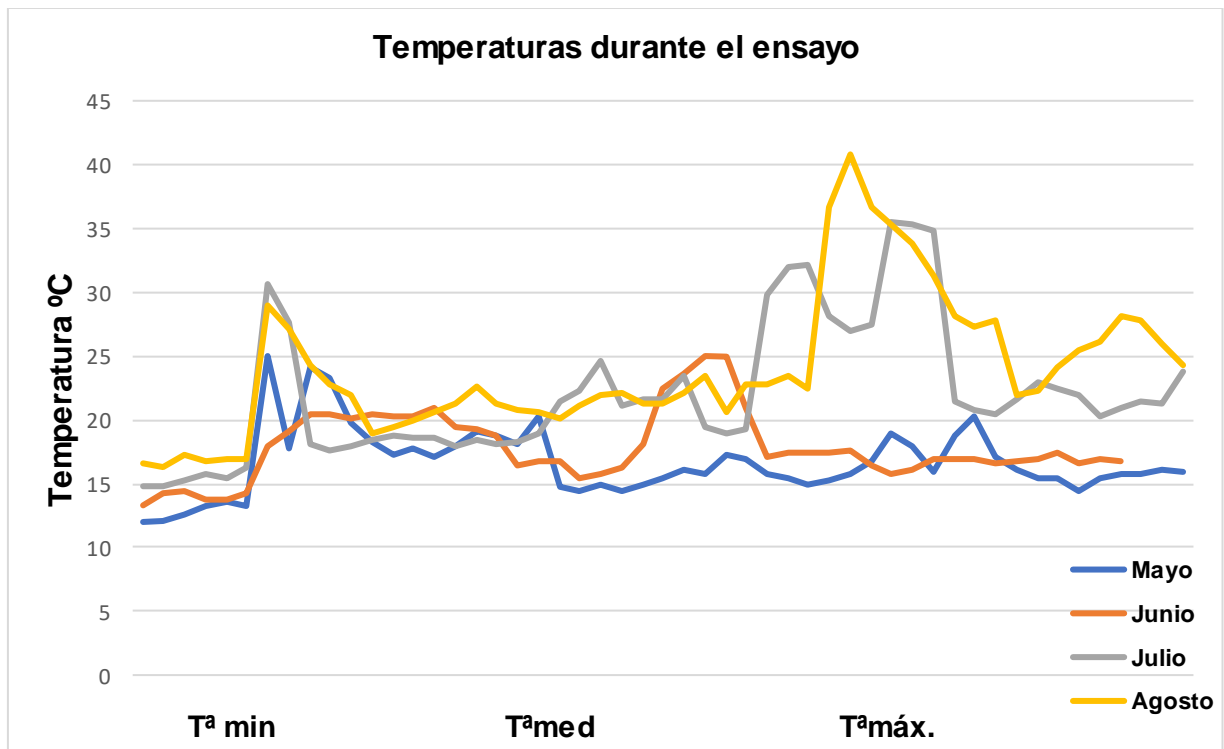
### **3.7.1 Temperatura**

La experiencia se realizó en los meses de primavera-verano, siendo éstos los meses con mayores valores de temperatura del año. En la Tabla 10 se puede observar los valores de temperatura media, máxima y mínima correspondiente al mes de mayo, junio, julio y agosto respectivamente. Así mismo la Gráfica 2 muestra los datos registrados durante el ensayo

Observando así un aumento progresivo de la temperatura durante el transcurso de los días.

**Tabla 9.** Temperatura del mes de mayo.

	TEMPERATURA MEDIA (°C)	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)
<b>Mayo</b>	16,1	25.4	12
<b>Junio</b>	17.9	33.4	13,3
<b>Julio</b>	20	35.5	14,8
<b>Agosto</b>	21.6	40.8	13.6



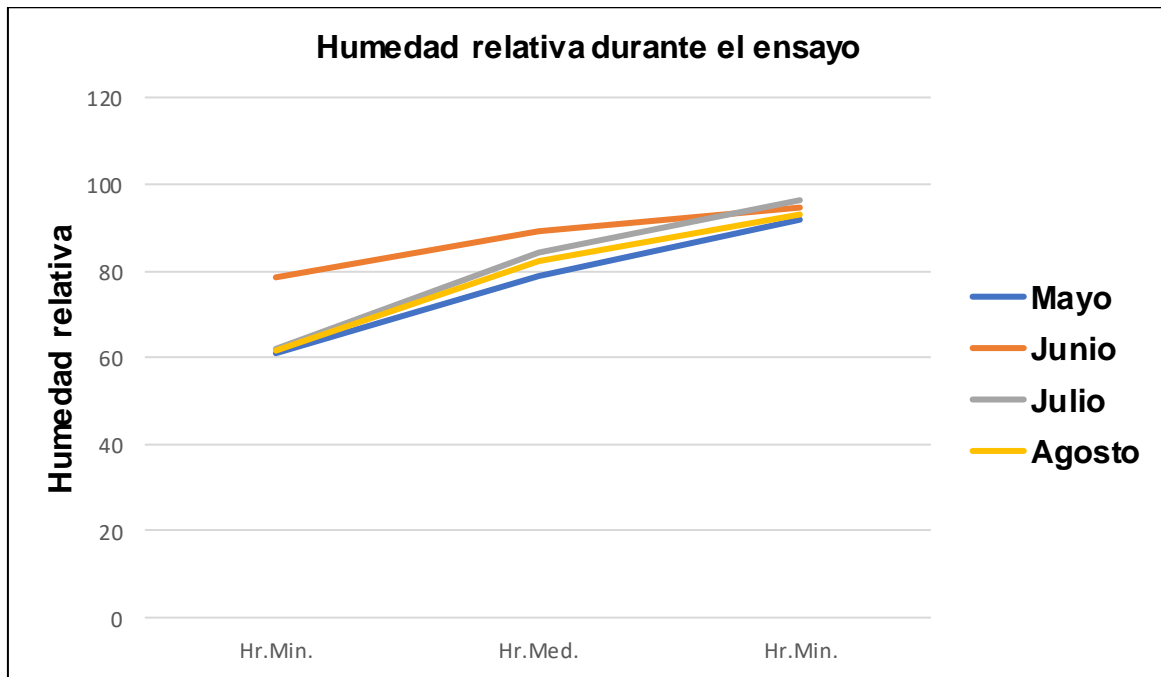
**Gráfica 2.** Evolución de las temperaturas.

### 3.7.2. Humedad relativa

En la Tabla 11 se pueden observar los porcentajes de humedad relativa media, máxima y mínima correspondientes a los meses de mayo, junio, julio y agosto, respectivamente. Así mismo la Gráfica 3 muestra la evolución de la humedad relativa durante dichos meses.

**Tabla 10.** Humedad relativa del mes de mayo.

	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)	HR MÁXIMA (%)	HR MÍNIMA (%)
Mayo	78.8	97.8	32
Junio	73.9	97.4	18.9
Julio	68.5	100	8.8
Agosto	68.5	100	8.8



**Gráfica 3.** Desarrollo de la humedad relativa en el mes de mayo.

### 3.8 Material vegetal

La especie elegida para estudiar el comportamiento a distintos grados de salinidad fue *Musa x paradisiaca*, en concreto la variedad Gruesa Palmera, esta fue escogida ya que se trata de uno de los cultivares con mayor auge en la actualidad. El viernes 20 de mayo, adquirimos la planta directa de laboratorio, un total de 24.

Antes de plantarlas (21 Mayo) se le dio un riego inicial con manguera para que se moje el suelo en profundidad y para mantenerlo en tempero y evitar que las raíces se quemen en contacto con la tierra caliente, lo que favorecería el ataque por hongos.

Colocamos las plantas bajo el invernadero de tipo canario, con una cubierta de policarbonato, perteneciente a la Sección.

#### 3.8.1 Taxonomía

Esta especie pertenece al género *Musa* donde se hace referencia a un elevado número de plantas herbáceas. Estos híbridos han sido obtenidos horticulturalmente a partir de las especies silvestres *Musa acuminata* y *Musa balbisiana* como cultivares genéticamente puros de esta especie.

Descrita por Carlos Linneo como *Musa paradisiaca* en 1753 y debido al amplio abanico de híbridos que incluye este género, se realizó una pequeña modificación de su forma original, resultando como *Musa x paradisiaca*, indicando así que se trata de un híbrido.

La familia del plátano comprende unas 50 especies de difícil taxonomía y decenas de híbridos.

**Tabla 11.** Clasificación botánica de la *Musa x paradisiaca*.

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Orden</b>	Zingiberales
<b>Familia</b>	Musaceae
<b>Género</b>	<i>Musa</i>
<b>Especie</b>	<i>Musa x paradisiaca</i>

Fuente: Cheesman, E. E. (1948).

#### 3.8.2 Morfología

Planta herbácea perenne de gran tamaño, con rizoma corto y tallo aparente como resultado de la unión de las vainas foliares. En cuanto a su altura, dependiendo de la variedad está entre los 3,5-7,5 m de altura, acabando en una corona de hojas.

Posee un con gran cormo subterráneo donde da origen a raíces y yemas vegetativas, formando así un sistema radicular superficial que se distribuyen en una capa de 30-40 cm.

Su verdadero tallo (rizoma) es subterráneo (ubicado en la parte superior al cormo) con numerosos puntos de crecimiento (meristemos) que darán lugar a los futuros hijos sucesores de la planta madre.

Las hojas se originan en el meristemo terminal situado en la parte superior del rizoma, esta se forma en el interior del pseudotallo y emerge enrollada en forma de cigarro. Son grandes y dispuestas en espiral, de 2-4m de larga y hasta 1,5m de ancha y un peciolo de 1m o más de longitud. De la corona de hojas emite durante la floración un escapo pubescente de 5-10cm de diámetro terminado por un racimo colgante de 1-2m de largo, compuesto por una veintena de brácteas alargadas de color rojo púrpura. De las axilas de estas brácteas nace a su vez las flores.

Los plátanos comestibles son de partenocarpia vegetativa, es decir, desarrollan una masa de pulpa comestible sin ser necesaria la polinización.



**Figura 11.** Racimo colgante con brácteas abiertas exponiendo las manos.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.8.3 Necesidades del cultivo.

En cuanto a los suelos, prefiere aquellos ricos en potasio, arcillo-silíceos, calizos, o los obtenidos por la extracción de tierra en zonas de montaña, susceptibles de riego en los meses de verano, pero que no retengan agua en invierno. La platanera es muy tolerante a los suelos ácidos, entre 4,5-8.

Por otro lado, tratamos con un cultivo de altas exigencias hídricas, llegando a consumir la planta adulta en épocas calurosas hasta 20-25L diarios. Si la planta es de resiembra se debe de regar los primeros 15 días casi a diario para ayudar al enraizamiento (Cultesa).

Resulta muy importante evitar los encharcamientos en el terreno y riegos en exceso para evitar la proliferación de enfermedades como ``oquedad``, ``Mal de Panamá`` y ``Veta Negra``, cuyos síntomas florecerán en los siguientes meses.

Pasados los primeros 15 días de plantación es el momento de iniciar la fertilización. Se debe de abonar la planta los dos primeros meses con un equilibrio 1:1:1 y 0,25 de calcio. Es interesante incorporar microelementos en los planes de abonado, por vía foliar como complemento al desarrollo del cormo de la planta en su primera etapa.

En relación con las características climáticas de la platanera *Musa x paradisiaca*, es un cultivo que requiere T<sup>a</sup> altas 21 a 29 °C. Siendo 27 °C la óptima. Temperaturas bajas (< 27 °C) alargan el ciclo de producción de este cultivo y retarda el crecimiento y desarrollo de la planta y el llenado o engorde del racimo.

El índice de asimilación neta de las hojas está vinculado con la radiación solar total (Tumer, 1972), la reducción de un 50% de la luz solar por sombra no supone una disminución de la producción en las regiones tropicales (Murray ,1960).

### 3.8.4 Plagas y enfermedades.

**Nematodos:** gusanos microscópicos atacan a raíces causando debilidad provocando la caída de la platanera. Lo propio para combatir esta plaga es mantener un nivel suficiente de materia orgánica en el suelo (superior al 3 %).

***Cosmopolites sordidus*:** el picudo negro de la platanera tanto en estado adulto como en larva, principalmente este último genera graves problemas alimentándose del tallo, creando galerías dentro de este, produciendo amarilleamiento, mal llenado del fruto e incluso que la planta pueda caer al suelo. El mejor método ecológico para controlarlo es mediante la colocación de trampas en el suelo con cebos hormonales.

**Trips:** Afecta al plátano en la etapa de llenado, tienden a refugiarse en la bellota por lo que se recomienda quitarla durante ducha etapa. Los síntomas se ven reflejados en la piel del fruto en forma de manchas plateadas. Se pueden

controlar mediante trampas cromáticas azules o mediante depredadores como *Amblyseius cucumeris* o el *Amblyseius swirskii*.

**Mosca blanca:** Aparecen en el cultivo al propagarse de otras plantas o jardines cercanos. Es rápida de ver, apreciándose un recorrido (huevos) en espiral de color blanco en el envés de las hojas. Para su control se debe colocar trampas cromáticas amarillas o aplicar tratamientos previos de jabón potásico antes de que se descontrole la plaga, también se debe evitar un aporte excesivo en nitrógeno pues la mosca blanca se siente atraída por este.

**Pulgón:** Se trata una plaga de fácil control, no afectando económicamente al cultivo si se trata a tiempo. Se puede combatir con distintos fitosanitarios o con depredadores naturales como la mariquita o las crisopas.

**Chrysodeixis chalcites (Esper, 1789):** conocida como lagarta de la platanera es un lepidóptero de la familia *Noctuidae*, ampliamente distribuido y que se ha convertido desde el año 2000 en una de las plagas más importantes de los cultivos de platanera en invernadero de Tenerife, La Palma y El Hierro, generando daños muy importantes en hojas tiernas y fruto.

Para su control se recomienda eliminar las malas hierbas dentro y fuera del invernadero ya que las hembras adultas tienen disposición a realizar las puestas sobre estas, no obstante, se debe vigilar el cultivo ya que las lagartas se trasladan al cultivo. El embolsado de la fruta y aclareo de hojas cercanas a la piña es otra medida para alejar dicha plaga del fruto, por otro lado, dentro del control biológico, la presencia de multitud de enemigos naturales como parasitoides de huevos (*Trichogramma* sp.), de larvas (*Cotesia* sp., *Hyposoter didymator* y *Exorista sorbillans*) y depredadores generalistas (*Chrysoperla carnea* y arañas).

En cuanto al control químico tenemos una amplia gama de fitosanitarios autorizados para el control de la lagarta, siendo uno de los más reconocidos el *Bacillus thuringiensis*.

Las enfermedades más extendidas en el cultivo de Musa x paradisiaca son:

**Mal de Panamá:** es una de las enfermedades más violentas que pueden afectar a la planta, es provocada por el hongo *Fusarium* ocasionando síntomas como el amarilleamiento de las hojas más viejas extendiéndose posteriormente a las más nuevas. En el caso de que la planta llegue a emitir el racimo, no será de calidad y no llenará bien.

No hay tratamientos específicos para esta enfermedad, por lo que se recomienda eliminar la planta afectada y aplicar cal agrícola al suelo para eliminar el hongo.

**Ahongado:** esta enfermedad florece en las puntas de los plátanos inmaduros mal desflorados. Para ello se recomienda realizar un buen corte sin realizar ningún tipo de herida al plátano.



### 3.8.4 Técnicas de cultivo

Para el comienzo del estudio, una vez retiradas las plantas del vivero se plantaron lo más rápido posible, a primera hora de la mañana se ubicaron las plantas en cada contenedor, para ello las enterramos dejando de 3 a 5 cm del tallo debajo del nivel del suelo. Esto es debido a que el posterior crecimiento y la emisión de hijos de fonde (desde la base de la cabeza) hace que la planta se vaya levantando paulatinamente y esté menos arraiga al suelo.

En primer lugar, se realizaron medidas de cada planta antes de empezar con los riegos y abonos, para la estudiar la evolución de cada una de ellas por separado.



**Figura 12.** Bloque 1 formado por 12 plantas.



**Figura 13.** Bloque 2 formado por 12 plantas.

Las medidas de cada planta se recogieron cada dos semanas después de las primeras, siendo el primer día de datos el 28 de mayo y el último el 8 de julio, sumando tres mediciones distribuidas en cinco semanas. Se tomaron los siguientes datos:

- Altura de la planta: se midió con cinta métrica la altura de cada planta, desde la tierra hasta la inserción de la hoja más nueva.
- Diámetro de la planta: se midió con cinta métrica el ancho de la planta, tomando como referencia 15 cm desde la tierra.
- Número de hojas: se llevó un control de todas las hojas emitidas durante su desarrollo, enumerando la última según su estado de abertura desde 0,2 a 0,8 (1 se considera la hoja totalmente abierta).
- Longitud de la hoja: todas sus hojas desde la nº1 se midieron en su longitud desde la base del limbo hasta su ápice.
- Ancho de la hoja: tomando como referencia la mitad del limbo se midió su ancho con la ayuda de la cinta métrica.

A la hora de distribuir los tratamientos se seguirá un sistema al azar, debido a que en uno de los laterales encontramos aguacateros cercanos que pueden dar sombra al igual que en otro frente tenemos una pared que con la caída del sol en la tarde generara sombras en un determinado número de plantas.

Los tratamientos son los siguientes:

T1: Agua testigo procedente de galería y pozo.

T2: Agua testigo desalada.

A cada tratamiento se le asignó un color para relacionar cada planta con su tratamiento, siendo así:

Azul: T1: Agua testigo procedente de galería y pozo.

Blanco: T2: Agua testigo desalada.

**Tabla 12.** Diseño al azar utilizado.

BLOQUE 1		BLOQUE 2	
PL1VT4	PL2RT3	PL13AT1	PL14BT2
PL3BT2	PL4AT1	PL15VT4	PL16RT3
PL5RT3	PL6BT2	PL17AT1	PL18T4
PL7AT1	PL8VT4	PL19RT3	PL20BT2
PL9BT2	PL10AT1	PL21VT4	PL22RT3
PL11VT4	PL12RT3	PL23BT2	PL24AT1

Leyenda: PL1: Planta número 1; V: color verde; T4: tratamiento cuatro.

### 3.8.5 Observaciones

En el comienzo del ensayo, no se detectaron ningún tipo de plaga ni enfermedad aparente. No obstante, pasado el primer mes posterior a la siembra empezaron a aparecer lagartas de la platanera (*Chrysodeixis chalcites*). Al detectarlas a tiempo no se observaron síntomas significativos, para su control, al tratarse de un número reducido de plantas (24) se realizó a mano, revisando una a una y eliminando manualmente la lagarta, evitando así el uso de fitosanitarios.



**Figura 14.** Presencia de *Chrysodeixis chalcites*.

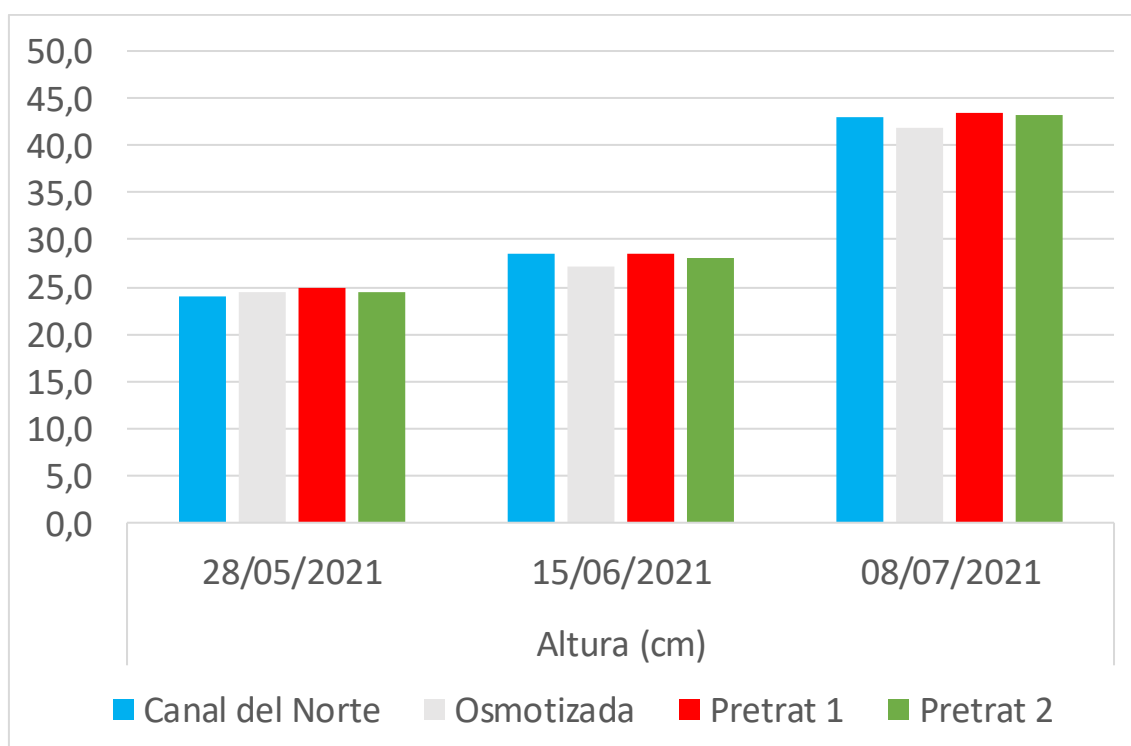
### 3.8.6 Parámetros de medida en Musa x paradisiaca

De las 24 plantas de Musa x paradisiaca, se tomaron las alturas de cada planta para llevar un control en el tiempo. Con los resultados obtenidos se generaron gráficas y se sometieron a un análisis para conocer si existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de agua utilizadas.

#### 3.8.6.1 Medias de altura en cada tratamiento

Tabla 13. Medias de altura de *M. x paradisiaca* .

FECHA	MEDIA DE ALTURA (cm)
28/05/2021	24,5
15/06/2021	28,06
08/07/2021	42,87

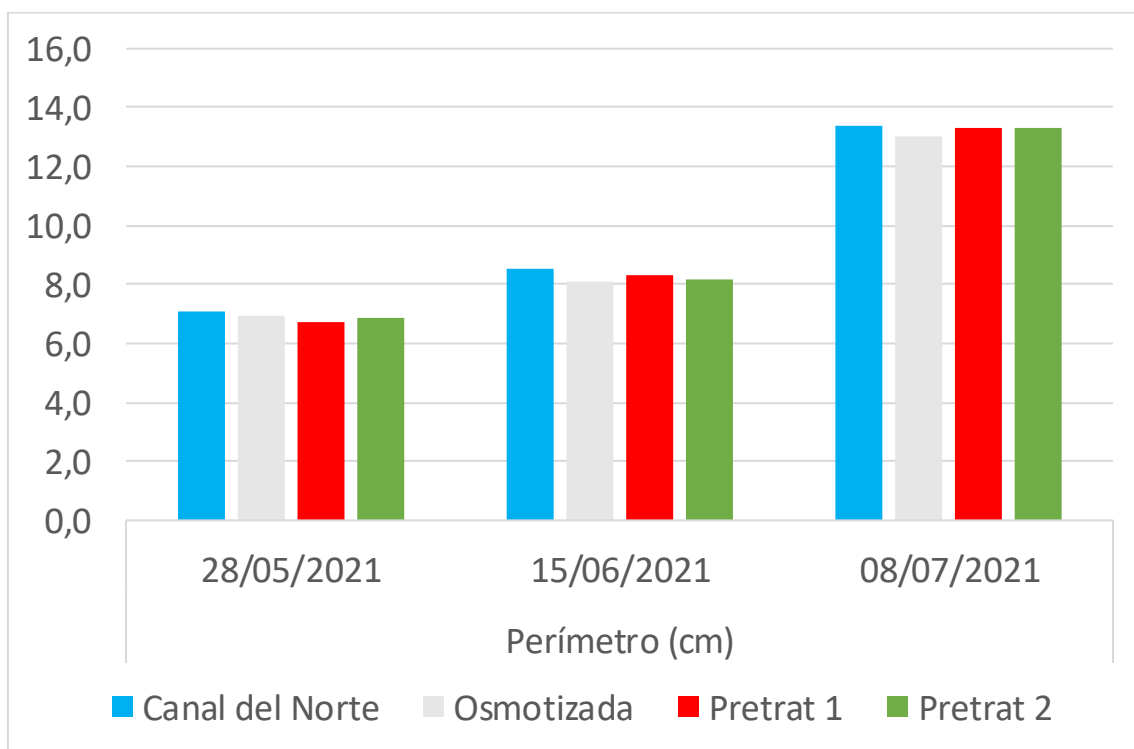


Gráfica 4. Alturas medias con cada tratamiento.

### 3.8.6.2 Medias del perímetro en cada tratamiento.

**Tabla 14.** Medias del perímetro en Musa x paradisiaca en función a los tratamientos.

TRATAMIENTO	MEDIA DEL PERÍMETRO (cm)
28/05/2021	6.9
15/06/2021	8,2
08/07/2021	13,2

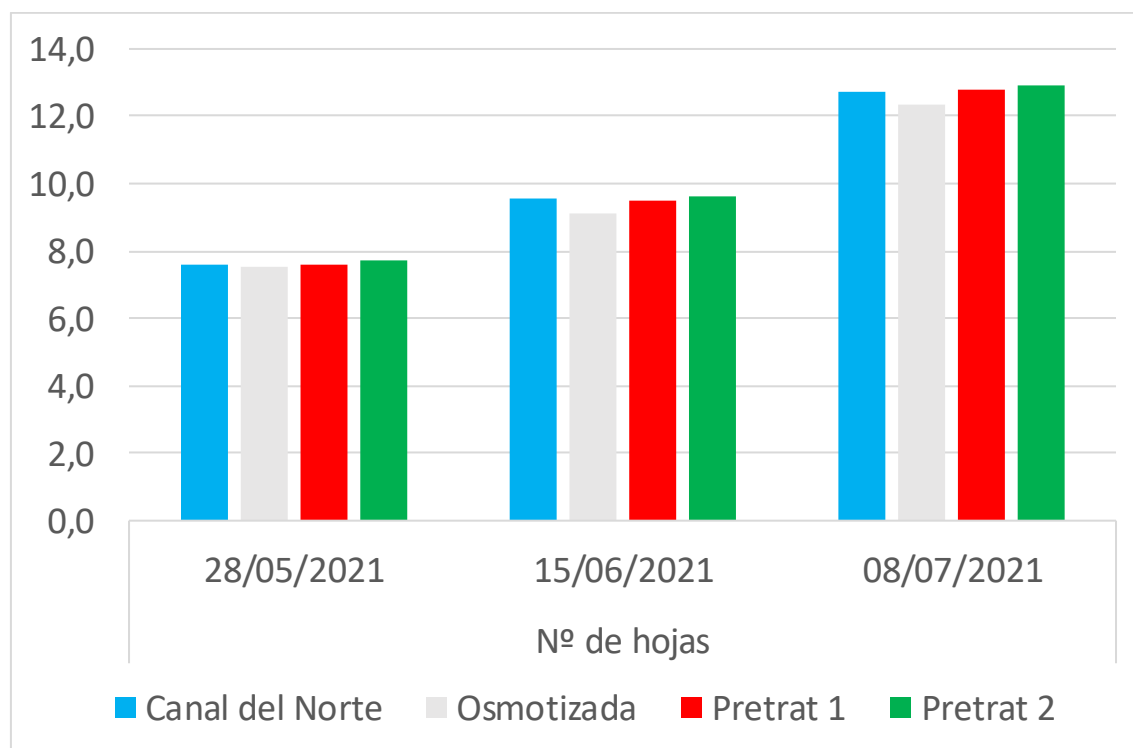


**Gráfica 5.** Medias del perímetro en función a los tratamientos.

### 3.8.6.3 Medias del número hojas en cada tratamiento.

**Tabla 15.** Medias de hojas emitidas en Musa x paradisiaca en función a los tratamientos.

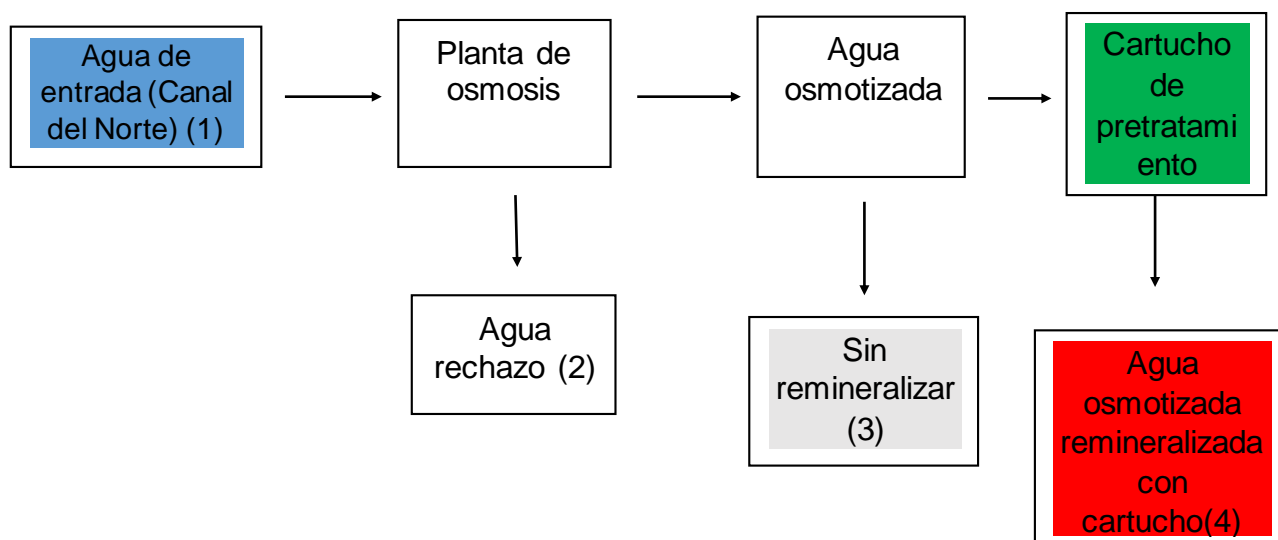
TRATAMIENTO	MEDIA DEL N.º DE HOJAS
28/05/2021	7,6
15/06/2021	9.4
08/07/2021	12,7



**Grafica 6.** Conteo de hojas en *Musa x paradisiaca*.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados del proceso de osmosis



**Figura 15.** Agua obtenida tras el proceso de osmosis.



#### 4.1.1 Efecto de la membrana de ósmosis

- Agua de entrada (Canal N)

pH 9,1		C.E.-25°C 0,72 mS/cm		sales disueltas: 0,51 g/l (estimación: TDS=0,7-CE)	
<i>Aniones</i>		<i>meq/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>Cationes meq/L</i>	
Bicarbonatos	6,51	397,1	Calcio	0,38	7,67
Carbonatos <sup>(1)</sup>	0,79	23,7	Magnesio	3,31	40,2
Cloruros	0,59	20,9	Sodio	4,23	97,3
Sulfatos	0,26	12,4	Potasio	0,49	19,0
<small>(1) pH p final 8,3</small>					
Nitratos	0,5 mgNO <sub>3</sub> /L	0,008 meqNO <sub>3</sub> /L	Amonio		mgNH <sub>4</sub> /L
Fosfatos	mgP/L	meqH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> /L			
<i>Otras determinaciones</i>			<i>Micronutrientes (mg/L)</i>		
Silíce	mg SiO <sub>2</sub> /L		Boro		
Flúor	mg F/L		Hierro		
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /L		Manganeso		
Carbono Orgánico Disuelto			Cobre		
Sólidos totales en suspensión			Zinc		
Carbonato sódico residual meq/L		3,6	Suma de aniones		8,2
SAR 3,1	SAR ajustado	7,0	Suma de cationes		8,4
Dureza (°F = 1/10 x mg CaCO <sub>3</sub> /L)	18,5	Medianamente blanda	Fiabilidad %		98,5

Figura 16. Análítica del agua con origen del Canal Norte. Canarias Explosivos.

- Osmotizada sin pasar por el cartucho de remineralización

pH 7,6		C.E.-25°C 0,034 mS/cm		sales disueltas: 0,02 g/l (estimación: TDS=0,7-CE)	
<i>Aniones</i>		<i>meq/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>Cationes meq/L</i>	
Bicarbonatos	0,29	17,7	Calcio	0,01	0,14
Carbonatos <sup>(1)</sup>	-	-	Magnesio	0,02	0,2
Cloruros	0,10	3,4	Sodio	0,26	6,1
Sulfatos	0,01	0,3	Potasio	0,03	1,2
<small>(1) pH p final 8,3</small>					
Nitratos	0,3 mgNO <sub>3</sub> /L	0,004 meqNO <sub>3</sub> /L	Amonio		mgNH <sub>4</sub> /L
Fosfatos	mgP/L	meqH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> /L			
<i>Otras determinaciones</i>			<i>Micronutrientes (mg/L)</i>		
Silíce	mg SiO <sub>2</sub> /L		Boro		
Flúor	mg F/L		Hierro		
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /L		Manganeso		
Carbono Orgánico Disuelto			Cobre		
Sólidos totales en suspensión			Zinc		
Carbonato sódico residual meq/L		0,3	Suma de aniones		0,4
SAR 2,3	SAR ajustado	-2,4	Suma de cationes		0,3
Dureza (°F = 1/10 x mg CaCO <sub>3</sub> /L)	0,1	Muy blanda	Fiabilidad %		89,2

Figura 17. Análítica del agua de entrada desalada sin ser remineralizada. Canarias Explosivos.

**Cálculo del porcentaje de reducción de aniones y cationes tras pasar por las membranas de osmosis.**

**Tabla 16.** Porcentaje de reducción de sales.

	%reducción
<b>CE</b>	<b>95,1805556</b>
<b>Bicarbonatos</b>	<b>95,5453149</b>
<b>Carbonatos</b>	<b>100</b>
<b>Cloruros</b>	<b>41</b>
<b>Sulfatos</b>	<b>96,1538462</b>
<b>Calcio</b>	<b>97,3684211</b>
<b>Mag</b>	<b>99,3957704</b>
<b>Sodio</b>	<b>93,8534279</b>
<b>Potasio</b>	<b>93,877551</b>

#### 4.1.2 Características y uso del agua de rechazo

pH 8,9		C.E. <sub>25°C</sub> 1,54 mS/cm		sales disueltas: 1,08 g/l (estimación: TDS=0,7 CE)	
<i>Aniones</i>	<i>meq/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>Cationes</i>	<i>meq/L</i>	<i>mg/L</i>
Bicarbonatos	14,88	907,7	Calcio	0,31	6,28
Carbonatos <sup>(1)</sup>	1,23	36,9	Magnesio	7,66	93,0
Cloruros	1,37	48,6	Sodio	9,75	224,3
Sulfatos	0,60	28,9	Potasio	1,12	43,9
<small>(1) pH p final 8,3</small>					
Nitratos	0,8 mgNO <sub>3</sub> /L	0,013 meqNO <sub>3</sub> /L	Amonio	mgNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L	meqNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L
Fosfatos	mgP/L	meqH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /L			
<i>Otras determinaciones</i>			<i>Micronutrientes (mg/L)</i>		
Silice	mg SiO <sub>2</sub> /L		Boro		
Flúor	mg F/L		Hierro		
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L		Manganeso		
Carbono Orgánico Disuelto			Cobre		
Sólidos totales en suspensión			Zinc		
Carbonato sódico residual	meq/L	8,1	Suma de aniones		18,1
SAR	4,9	SAR ajustado	14,1	Suma de cationes	18,8
Dureza (°F = 1/10 x mg CaCO <sub>3</sub> /L)	39,9 Dura		Fiabilidad %		98,0

**Figura 18.** Analítica del agua rechazo. Canarias Explosivos.

Esta agua se ha utilizado para ensayos de tolerancia en plantas ornamentales a la salinidad.

### 4.1.3 Efectos del cartucho de remineralización

Tabla 17. Comparación del agua sin remineralizar y remineralizada.

	Agua osmotizada sin remineralizar	Agua osmotizada remineralizada
CE	0,034 mS/cm	0,045 mS/cm
Bicarbonatos	0,29	0,05
Carbonatos	0	0,37
Cloruros	1	0,08
Sulfatos	0,01	0,01
Calcio	0,01	0,05
Mag	0,02	0,04
Sodio	0,26	0,24
Potasio	0,03	0,05

Como podemos observar no hay prácticamente diferencia significativa entre el agua osmotizada sin remineralizar a la remineralizada.

### 4.2 Necesidad de remineralización

En el manejo de las aguas de riego se ha visto o que la deficiencia de estos elementos (Ca, Mg y S) en el agua desalinizada, no supone en sí un problema para los cultivos. No obstante, es necesario tener en cuenta que estos elementos son esenciales para los cultivos y es necesario incorporarlos en diferentes proporciones en función del agua, cultivo y suelo.

Normalmente estos elementos se encuentran de manera suficiente en aguas naturales, por lo que el agricultor se “ahorraría” la incorporación de esos elementos para los cultivos, sin embargo, los costes para remineralizar las aguas no son elevados por m<sup>3</sup>. La solución más económica sería mediante la mezcla de aguas con altos contenidos en Ca, Mg y S, ahorrando así en la fertilización de esos elementos.

Tras analizar detenidamente ambas analíticas (figuras 16 y 17) tomamos la decisión de seguir trabajando con el agua osmotizada sin remineralizar, ya que los elementos como Ca<sup>+2</sup> Mg<sup>+2</sup> K<sup>+2</sup> se pueden compensar con el plan de abonado y llegar a las recomendaciones ideales.

Parameter	SW	DSW	Recommendation for DSW <sup>a</sup>
pH	6.7 ± 0.1	5.8 ± 0.4	<8.5
EC dS m <sup>-1</sup>	47.7 ± 7.4	0.7 ± 0.2	<0.3
Ca <sup>2+</sup> mg L <sup>-1</sup>	644.7 ± 35.9	4.0 ± 2.7	32–48
Mg <sup>2+</sup> mg L <sup>-1</sup>	1503.8 ± 5.3	6.0 ± 4.1	12–18
K <sup>+</sup> mg L <sup>-1</sup>	358.7 ± 30.1	4.9 ± 1.3	----
Na <sup>+</sup> mg L <sup>-1</sup>	10,643.3 ± 504.4	125.8 ± 38.8	<20
SAR (meq L <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	52.4 ± 2.2	10.5 ± 2.0	----
Alkalinity mg L <sup>-1</sup> as CaCO <sub>3</sub>	194.0 ± 7.8	13.5 ± 3.1	>80
Cl <sup>-</sup> mg L <sup>-1</sup>	20,211.5 ± 299.1	208.6 ± 69.4	<20
S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg L <sup>-1</sup>	861.3 ± 109.9	4.1 ± 2.9	>30
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg L <sup>-1</sup>	20.7 ± 2.7	0.8 ± 0.4	----
B mg L <sup>-1</sup>	4.8 ± 0.4	1.2 ± 0.3	0.2–0.3
Langelier saturation index (LSI)	0.5 ± 0.1	-4.1 ± 0.6	-0.5–0.5

Figura 19. Recomendaciones Israelíes para el agua desalada para el riego.

### 4.3 Características de la instalación de riego y abonado de bajo coste

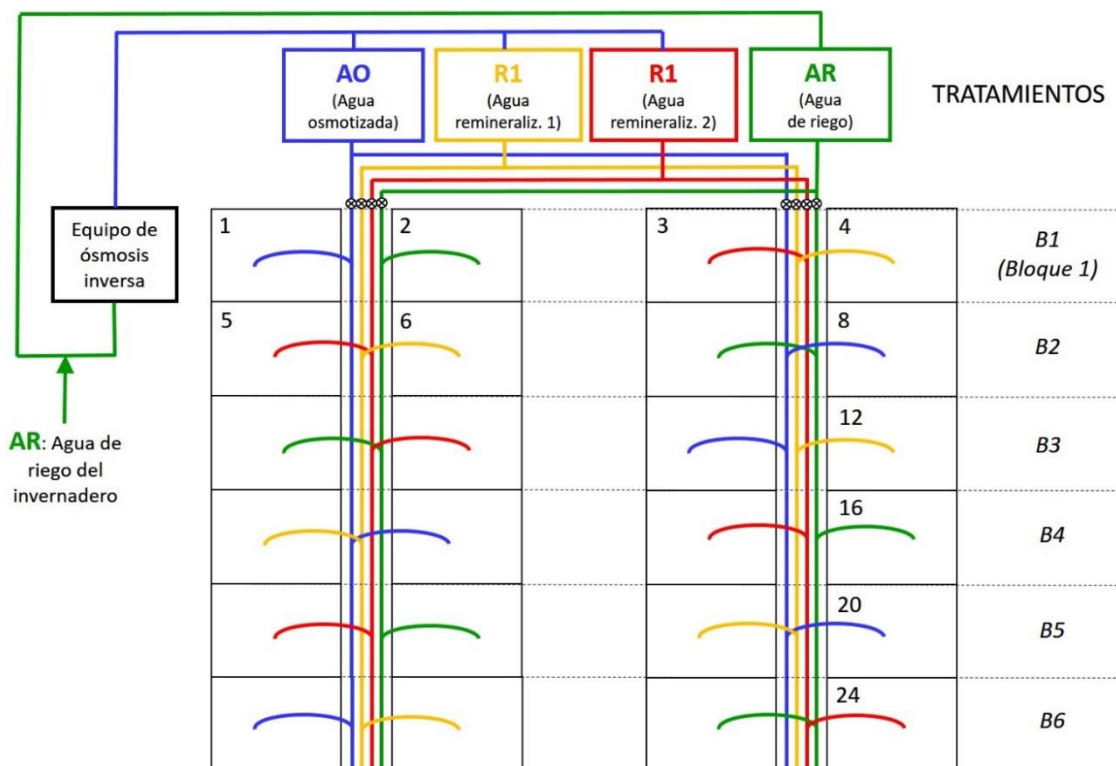


Figura 20. Diseño de la instalación.

### 4.3.1 Coeficiente de uniformidad del riego

**Tabla 15.** Prueba de uniformidad de microtubos (l: 50 cm; φ: 1,6 mm). Los dos valores para cada contenedor significan los volúmenes recogidos en cada microtubo (2 por contenedor).

Contenedor	ml en 6 minutos	Contenedor	ml en 6 minutos	Contenedor	ml en 6 minutos	Contenedor	ml en 6 minutos
1	530	7	555	13	600	19	610
	565		555		620		590
2	565	8	590	14	570	20	380
	570		580		580		570
3	515	9	590	15	590	21	560
	560		555		630		590
4	585	10	575	16	580	22	615
	585		565		580		640
5	555	11	600	17	575	23	565
	565		585		560		595
6	570	12	580	18	585	24	635
	575		580		600		615
Promedios	561,7		575,833333		589,166667		580,416667
	568,75				584,791667		

$$CU = \frac{q_{25}(\text{promedio de los emisores más bajos})}{q_a(\text{promedio de todos los emisores})}$$

$$Cu = \frac{568,75}{576,77} = 0.986$$

**Tabla 16.** Rango de coeficiente de uniformidad.

<b>Clasificación</b>	<b>Coeficiente de uniformidad (CU) (%)</b>
<b>Excelente</b>	<b>90-100</b>
<b>Buena</b>	<b>80-90</b>
<b>Aceptable</b>	<b>70-80</b>
<b>Inaceptable</b>	<b>&lt;70</b>

**Fuente: Comisión Nacional de Riego Chile (CNR).**

Conforme al resultado obtenido del C.U. y tomando como referencia la tabla 30, se obtuvo un valor del 98,6% de uniformidad, es decir, excelente.

La elección de este modelo para el diseño de nuestras instalaciones se basó en las siguientes aptitudes:

- Su bajo coste.  
Los emisores empleados son microtubos, cuyo coste es sensiblemente menor al de un emisor de riego localizado. A pesar de que el caudal emitido por éstos es alto, y esta circunstancia podría obligarnos a aumentar los diámetros de las tuberías de una instalación, en condiciones de baja carga hidráulica el caudal es relativamente bajo, obteniéndose instalaciones con un coste reducido.
- Fácil montaje, manejo y mantenimiento.  
No se necesita una cualificación especial para la instalación de estos riegos. Sólo tienen que cortar los microtubos, insertarlos en los orificios practicados en las tuberías laterales, conectar éstas a las tuberías secundarias y montar unas pocas piezas especiales. El manejo del riego se realiza con la manipulación de dos o tres válvulas. Se procede llenando el depósito cada vez que vamos a regar, con la incorporación al mismo de fertilizante previamente disuelto en agua. El mantenimiento se limita a abrir cada cierto tiempo el final de los laterales para su lavado, a la limpieza del filtro y a sustituir los emisores obturados.
- Bajas necesidades energéticas.  
El sistema funciona con un depósito instalado a poca altura sobre el terreno.

Conforme más largo sea el microtubo, mejor comportamiento hidráulico tendrá (descargas menos sensibles a las variaciones de presión, menor caudal emitido). Sin embargo, un microtubo más largo tendrá más inconvenientes: mayor costo, más sensible a la obturación y un mayor estorbo para realizar las labores. Finalmente elegimos una medida de 30cm de longitud.

En el mercado disponemos de microtubos de 1, 1'5 y 2 mm de diámetro interno. El diámetro de 1mm es altamente sensible a las obturaciones y el de 2mm aporta caudales muy elevados, encareciendo así la instalación. Valorado esto optamos por el microtubo de 1,5mm de diámetro interior.

#### 4.4 Efectos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas

Tabla 18. Evolución del número de hojas, altura y perímetro de las plantas con cada tratamiento

Contenedores	Tratamiento	Tratamiento	28/05/2021	15/06/2021	08/07/2021	28/05/2021	15/06/2021	08/07/2021	28/05/2021	15/06/2021	08/07/2021
			Nº de hojas			Altura (cm)			Perímetro (cm)		
4	A	Canal del Norte	8	10	13,2	23	27	40	7,5	8,5	13,5
7	A	Canal del Norte	8,4	10,2	13,4	26,5	30	43	7	9	13,5
10	A	Canal del Norte	7,2	9	12,2	30	31,5	44	7	8	13
13	A	Canal del Norte	8	10	12,8	24	30	44	7,5	9	13,5
17	A	Canal del Norte	7	9,2	12,4	22	30	47	7,5	8,5	14
24	A	Canal del Norte	7	9	12,2	19	23	40	6	8	13
3	B	Osmotizada	7,7	9,2	12,2	25	27	43	7,6	8	13
6	B	Osmotizada	8	9,8	13,2	25	27	41	7,2	8,5	13
9	B	Osmotizada	8,2	10,2	13,4	29	32	45	7,5	8,5	13
14	B	Osmotizada	6	7,4	10,6	20	24	43	6,4	8	13,5
20	B	Osmotizada	8	9,2	12,6	24	27	39	6,5	8	13
23	B	Osmotizada	7,2	9	12,2	24	26	40	6,5	7,5	12,5
2	R	Pretrat 1	8	9,4	12,8	22	25	43	7,5	8	13
5	R	Pretrat 1	7,8	10	13,2	25	29	41	7	8,5	13
12	R	Pretrat 1	7	9,2	12,8	25,5	29	44	7,5	8,5	13
16	R	Pretrat 1	8,2	10,2	13,2	26	31	47	7,2	9	14,5
19	R	Pretrat 1	7,4	9	12,2	26	29	44	7	8	13,5
22	R	Pretrat 1	7	9,2	12,6	25	28	42	4	8	13
1	V	Pretrat 2	6,6	8,4	11,4	24	29	43	6,2	8	12
8	V	Pretrat 2	8,8	10,4	13,8	25	27	43	7,5	8	13,5
11	V	Pretrat 2	8,2	10,2	13,6	27	29	42	7,5	8,5	13
15	V	Pretrat 2	9	11,2	14,2	22	28	45	7,5	8,5	14
18	V	Pretrat 2	6,4	8,2	11,4	23	27	41	6,4	8	13,5
21	V	Pretrat 2	7,2	9,4	13,2	26	28	45	6,2	8	14



**Tabla 19. Promedio de medidas por cada tratamiento.**

		Nº de hojas				Altura (cm)				Perímetro (cm)		
		28/05/2021	15/06/2021	08/07/2021		28/05/2021	15/06/2021	08/07/2021		28/05/2021	15/06/2021	08/07/2021
<b>A</b>	<b>Canal del Norte</b>	7,6	9,6	12,7	<b>Canal del Norte</b>	24,1	28,6	43,0	<b>Canal del Norte</b>	7,1	8,5	13,4
<b>B</b>	<b>Osmotizada</b>	7,5	9,1	12,4	<b>Osmotizada</b>	24,5	27,2	41,8	<b>Osmotizada</b>	7,0	8,1	13,0
<b>R</b>	<b>Pretrat 1</b>	7,6	9,5	12,8	<b>Pretrat 1</b>	24,9	28,5	43,5	<b>Pretrat 1</b>	6,7	8,3	13,3
<b>V</b>	<b>Pretrat 2</b>	7,7	9,6	12,9	<b>Pretrat 2</b>	24,5	28,0	43,2	<b>Pretrat 2</b>	6,9	8,2	13,3

## 5 CONCLUSIONES

En base a las fechas en las que se realizó el ensayo, estando en la época del año con mayores temperaturas, bajo invernadero y con un diseño de bloques al azar donde unas plantas recibían más luz que otras, podemos llegar a las siguientes conclusiones.

1. El diseño y puesta en marcha del sistema de riego funciona correctamente, manteniendo los caudales y uniformidad de riego.
2. Tras realizar las analíticas del agua desalada se llegó a la conclusión de que no es necesario remineralizarla, pues mantiene sus niveles de minerales en un rango correcto.
3. En cuanto a las medias de altura, perímetro y número de hojas emitidas no se obtuvieron valores que presentaran diferencia significativa entre tratamientos.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

Álvarez-Méndez, S., Padrón-Armas, Isidro, Mahouachi, Jalel. 2021. Irrigation management strategies through the combination of fresh water and desalinated sea water for banana crops in El Hierro, Canary Islands. *Journal of Water Reuse and Desalination* 11 (12).

Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1985). Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper N°29. Rev.1. FAO. United Nations, Rome. 174 p.

Ben-Gal, A., Yermiyahu, U., & Cohen, S. (2009). Fertilization and blending alternatives for irrigation with desalinated water. *J. Environ. Qual.* 2009, 38, 529–536.

Cheesman, E. E. (1948). «Classification of the Bananas. III. Critical Notes on Species. c. *Musa paradisiaca* L. and *Musa sapientum* L. Vol. 3, No. 2 (1948), pp. 145-153 (11 pages).

Delvaux, B. 1996. Soils. En: Bananas and Plantains. S. Gowen (ed.). Natural Resources Institute, Chatham, UK and Department of Agriculture University of Reading, UK. Chapman & Hall. p:230- 257.

Dregne, H.E. (1976). Soils of arid regions. Elsevier. Amsterdam.

FAO. (2017). Escasez de agua: Uno de los grandes retos de nuestro tiempo.

Feder, G. y Umali, DL (1993). La adopción de innovaciones agrícolas: una revisión. *Previsión tecnológica y cambio social.* 43:215-239.

Fernández Caldas, E., y Pérez García, V. (1974 b). Características químicas de las aguas subterráneas de las Islas Canarias Occidentales (Tenerife, La Palma, Gomera y El Hierro). Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (eds.). 182 p.

Foley, J., Ramankutty, N., Brauman, K. *et al.* (2011). Soluciones para un planeta cultivado. *Nature* 478, 337–342.

Fuentes Yagüe, José Luis. (1989). El suelo y los fertilizantes. p. 351-352.

García, V., A. Díaz, E. Fernández-Caldas y J. Robles. 1976. Factores que afectan a la asimilabilidad del potasio en los suelos de plátanos de Tenerife. *Agrochimica*, 12:1-7.

Gisbert JM. 1991. Desertification and salinity. En: Desertification and water resources in the European community". European Parliament, Scientific and Technological Options Assessment-STOA., p. 133-158.

González Soto, M. C., Hernández, L. A., Jiménez Mendoza, C. C., Ortega González, M. J., Padrón Padrón, P. A., Rodríguez Rodríguez, A., et al. (1991). Primeros resultados sobre la salinidad de suelos en Canarias. *Comunicaciones de XVIII Reunión Nacional de Suelos.* Tenerife. p:425-440.

Hernández Suárez, M. (2003). Postratamiento del agua osmotizada para uso agrícola. Centro Canario del Agua Murcia, 27 mayo 2003.

- Hernández, M. 2017b. Remineralización de aguas desaladas. Ed. Fundación Centro Canario del Agua. 79 p.
- Hernandez-Suárez, M. (2002). Desalination in Canary Islands.
- Hernández-Suárez, M. (2010). Guía para la remineralización de las aguas desaladas.
- Knight, G.W. (1991). Chemistry of arid region soils. p. 111-171.
- Lahav, & Birnhack. (2007). Antecedentes y problemática de la aplicación de agua marina desalinizada al riego agrícola.
- Lahav, E. y D. Turner. (1992). Fertilización del banano para rendimientos altos. Segunda edición. Boletín No.7. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador. 71p.
- Lauchli, L. and Epstein, E. (1990) Plant response to saline conditions. K.K. Tanji (ed.), Agricultural Salinity Assessment and Management. New York: American Society of Civil Engineers. p:113-137.
- Maas, E.V, Nieman, R.H. (1978). Physiology of plant tolerance to salinity. G.A. Jung (ed.). Crop Tolerance to Suboptimal Land Conditions. Madison: American Society of Agronomy. p:277- 299.
- Maas, E.V. (1984). Salt Tolerance of plants. En: Handbook of plant science in agriculture. Christie B.R. (ed.). CRC Press. Boca Raton. Florida.
- Maas, E.V. y Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance: Current assessment. J. Irrig. Drain. Div. Proc. Am. Soc. Civil Eng. 103:115-134.
- Martín Peñalba, D. (n.d.). Uso y problemática del agua en las Islas Canarias.
- Martínez Álvarez, V., & Martín Górriz, B. (2014). Antecedentes y problemática de la aplicación de agua marina desalinizada al riego agrícola.
- Martinez Beltran, J. and Koo-Oshima, S. (2006). Water desalination for agricultural applications. Proceedings of the FAO Expert Consultation on Water Desalination for Agricultural Applications, 26-27 April 2004. No 5, 60 pp.
- Martínez Álvarez, V., & Martín Górriz, B. (2014). Antecedentes y problemática de la aplicación de agua marina desalinizada al riego agrícola.
- Morales Matos, G., & Pérez González, R. (2000). Gran atlas temático de Canarias. Editorial Interinsular Canaria, 2000.
- Murray, D.B. (1960). The Effect of Deficiencies of the Major Nutrients on Growth and Leaf Analysis of the Banana, Tropical Agriculture. (Trinidad) 51, 154-160.
- Pearson, G.A. 1960. Tolerance of crops to exchangeable sodium. US. Dept. Agric. Inf. Bull. 216. Washington DC.
- Pérez Almeida, N. (2003). Contribución al estudio del cultivo de la platanera. Deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio. <http://hdl.handle.net/10553/2266>.

R.A. Young y G.H. Horner. 1986. Irrigated agriculture and mineralized water. En T.T. Phipps, P.R. Crosson y K.A. Price, eds. *Agriculture and the environment*. Washington, D.C., Resources for the Future.

Rodríguez Rodríguez, A., Arbelo, C., & Mendez Mora, J.L. (2006). Salinidad y alcalinidad en suelos de las zonas áridas de Tenerife (Islas Canarias). VOL 13. (3), PP 171-179 2006.7

Shaffer DL, Yip NY, Gilron J, Mebachem E. (2012). Seawater desalination for agriculture by integrated forward and reverse osmosis: Improved product water quality for potentially less energy. *Journal of Membrane Science* 415-416:1–8.

Singh, K. N., & Chatrath, R. (2001). Salinity tolerance. pp.101-110. In Eds., M. P. Reynolds, J. J. Ortiz-Monasterio & A. McNab (Eds.), *Application of physiology in wheat breeding*. Mexico: CIMMYT.

Soler, C. (1988). Intrusión marina en el Archipiélago Canario: estado actual para las islas occidentales. *Almuñecar*. TIAC 88.

Szabolcs I. 1996. An overview on soil salinity and alkalinity in Europe. In: *Soil Salinisation and alkalinisation in Europe*. European Society for Soil Conservation. Special Publication, p.1-12. Thessaloniki, Greece

Torero, M. (2021). La escasez hídrica amenaza la seguridad alimentaria. *FAO*

Turner, D.W. 1972. Banana plant growth. 2. Dry matter production, leaf area and growth analysis. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 12(55):216-224.

Vargas Chávez, Gladis E. (2001). Salinización inducida en los suelos de Canarias: caracterización y prognosis.

Wardlaw, C.W. (1961) *Banana Diseases: Including Plantains and Abaca*. American Journal of Plant Sciences, Vol.5 No.5.

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

Zarzo, D., Campos, E., & Terreno, P. (2013). Spanish experience in desalination for agriculture. *Journal Desalination and Water Treatment* 51: 53-66.

## 7 ANEXOS O APÉNDICES



## Anexo 1. Analítica de agua testigo por Canarias Explosivos, S.A.



<i>Análisis de agua</i>						código artículo 8841
nº registro	29446		Solicitante	Proyecto E5DES		
fecha de entrada	15/04/21		Identificación de la muestra	N		
fecha de salida	27/04/21					
pH		9,1	C.E.-25°C	0,72 mS/cm	sales disueltas:	0,51 g/l
						(estimación: TDS=0,7·CE)
<i>Aniones</i>		<i>meq/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>Cationes</i>		<i>meq/L</i>
<i>mg/L</i>				<i>mg/L</i>		
Bicarbonatos	6,51	397,1	Calcio	0,38	7,67	
Carbonatos <sup>(1)</sup>	0,79	23,7	Magnesio	3,31	40,2	
Cloruros	0,59	20,9	Sodio	4,23	97,3	
Sulfatos	0,26	12,4	Potasio	0,49	19,0	
<small>(1) pH p final 8,3</small>						
Nitratos	0,5 mgNO <sub>3</sub> /L	0,008 meqNO <sub>3</sub> /L	Amonio	mgNH <sub>4</sub> /L	meqNH <sub>4</sub> /L	
Fosfatos	mgP/L	meqH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> /L				
<i>Otras determinaciones</i>			<i>Micronutrientes (mg/L)</i>			
Sílice	mg SiO <sub>2</sub> /L		Boro			
Flúor	mg F/L		Hierro			
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /L		Manganeso			
Carbono Orgánico Disuelto			Cobre			
Sólidos totales en suspensión			Zinc			
Carbonato sódico residual	meq/L	3,6	Suma de aniones	8,2		
SAR	3,1	SAR ajustado	7,0	Suma de cationes	8,4	
Dureza <sup>(°F = 1/10 x mg CaCO<sub>3</sub>/L)</sup>	18,5	Medianamente blanda	Fiabilidad %	98,5		

<b>SERVICIO AGRONÓMICO</b> Polig. Ind. Cueva Bermeja, Vía Serv. Puerto, P.14 - 38180 Santa Cruz de Tenerife Tfno.: 922 59 69 03 Ext. 2 - Fax: 922 59 66 03 - laboratorio@canariasexplosivos.es www.canariasexplosivos.es	 <b>Fdo. José Luis Cruz García</b> Químico colegiado nº 448 Canarias
---	--

**Anexo 2.** Analítica de agua desalada tras pasar por el cartucho de remineralización por Canarias Explosivos, S.A.



® Laboratorio de Diagnóstico Agrícola I + D

Certificado  
ISO 9001  
ISO 14001

**CANARIAS  
EXPLOSIVOS, S.A.**



SERVICIO AGRONÓMICO

*Análisis de agua*

código artículo 8841

nº registro	29445	Solicitante	Proyecto E5DES
fecha de entrada	15/04/21	Identificación de la muestra	DC
fecha de salida	27/04/21		

pH 9,4      C.E.<sub>25°C</sub> 0,045 mS/cm      sales disueltas: 0,03 g/l  
(estimación: TDS=0,7·CE)

Aniones	meq/L	mg/L	Cationes	meq/L	mg/L
Bicarbonatos	0,05	3,1	Calcio	0,05	1,02
Carbonatos <sup>(1)</sup>	0,37	11,1	Magnesio	0,04	0,5
Cloruros	0,08	2,8	Sodio	0,24	5,5
Sulfatos	0,01	0,2	Potasio	0,05	2,0

(1) pH p.final 8,3

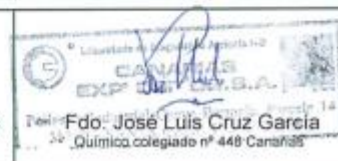
Nitratos	n.d.	mgNO <sub>3</sub> /L	n.d.	meqNO <sub>3</sub> /L	Amonio	mgNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L	meqNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L
Fosfatos		mgP/L		meqH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> /L			

Otras determinaciones		Micronutrientes (mg/L)	
Sílice	mg SiO <sub>2</sub> /L	Boro	
Flúor	mg F/L	Hierro	
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L	Manganeso	
Carbono Orgánico Disuelto		Cobre	
Sólidos totales en suspensión		Zinc	

Carbonato sódico residual meq/L	0,3	Suma de aniones	0,5
SAR 1,1      SAR ajustado	-0,4	Suma de cationes	0,4
Dureza (°F =1/10 x mg CaCO <sub>3</sub> /L)	0,5      Muy blanda	Fiabilidad %	86,8

**SERVICIO AGRONÓMICO**

Polig. Ind. Cueva Bermeja, Vía Serv. Puerto, P.14 - 38180 Santa Cruz de Tenerife  
Tfno.: 922 59 69 03 Ext. 2 - Fax: 922 59 66 03 - laboratorio@canariasexplosivos.es  
www.canariasexplosivos.es



**Anexo 3.** Analítica de agua desalada antes de pasar por el cartucho de remineralización por Canarias Explosivos, S.A.



<i>Análisis de agua</i>						código artículo 8841
nº registro	29444	Solicitante		Proyecto ESDDES		
fecha de entrada	15/04/21	Identificación de la muestra		DS		
fecha de salida	27/04/21					
pH 7,6		C.E.-25°C	0,034 mS/cm	sales disueltas:	0,02 g/l	
(estimación: TDS=0,7·CE)						
<i>Aniones</i>		<i>meq/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>Cationes</i>		
<i>meq/L</i>				<i>meq/L</i>		
Bicarbonatos	0,29	17,7	Calcio	0,01	0,14	
Carbonatos <sup>(1)</sup>	-	-	Magnesio	0,02	0,2	
Cloruros	0,10	3,4	Sodio	0,26	6,1	
Sulfatos	0,01	0,3	Potasio	0,03	1,2	
<small>(1) pH p final 8,3</small>						
Nitratos	0,3 mgNO <sub>3</sub> /L	0,004 meqNO <sub>3</sub> /L	Amonio	mgNH <sub>4</sub> /L	meqNH <sub>4</sub> /L	
Fosfatos	mgP/L	meqH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> /L				
<i>Otras determinaciones</i>			<i>Micronutrientes (mg/L)</i>			
Sílice	mg SiO <sub>2</sub> /L			Boro		
Flúor	mg F/L			Hierro		
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /L			Manganeso		
Carbono Orgánico Disuelto				Cobre		
Sólidos totales en suspensión				Zinc		
Carbonato sódico residual meq/L		0,3	Suma de aniones		0,4	
SAR	2,3	SAR ajustado	-2,4	Suma de cationes	0,3	
Dureza (°F = 1/10 x mg CaCO <sub>3</sub> /L)	0,1	Muy blanda	Fiabilidad %		89,2	

<p><b>SERVICIO AGRONÓMICO</b></p> <p>Polig. Ind. Cueva Bermeja, Vía Serv. Puerto, P.14 - 38180 Santa Cruz de Tenerife</p> <p>Tlno.: 922 59 69 03 Ext. 2 - Fax: 922 59 66 03 - laboratorio@canariasexplosivos.es</p> <p>www.canariasexplosivos.es</p>	 <p>Fdo. José Luis Cruz García</p> <p>-Químico colegiado nº 448 Canarias</p>
--	---

Anexo 4. Analítica de agua de rechazo por Canarias Explosivos, S. A.



Análisis de agua					código artículo 8841
nº registro	29443	Solicitante		Proyecto E5DES	
fecha de entrada	15/04/21	Identificación de la muestra		R	
fecha de salida	27/04/21				
pH 8,9		C.E. <sub>-25°C</sub>	1,54 mS/cm	sales disueltas:	1,08 g/l
(estimación: TDS=0,7 CE)					
<i>Aniones meq/L</i>		<i>mg/L</i>	<i>Cationes meq/L</i>		<i>mg/L</i>
Bicarbonatos	14,88	907,7	Calcio	0,31	6,28
Carbonatos <sup>(1)</sup>	1,23	36,9	Magnesio	7,66	93,0
Cloruros	1,37	48,6	Sodio	9,75	224,3
Sulfatos	0,60	28,9	Potasio	1,12	43,9
<small>(1) pH p final 8,3</small>					
Nitratos	0,8 mgNO <sub>3</sub> /L	0,013 meqNO <sub>3</sub> /L	Amonio	mgNH <sub>4</sub> /L	meqNH <sub>4</sub> /L
Fosfatos	mgP/L	meqH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> /L			
<i>Otras determinaciones</i>			<i>Micronutrientes (mg/L)</i>		
Sílice	mg SiO <sub>2</sub> /L		Boro		
Flúor	mg F/L		Hierro		
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /L		Manganeso		
Carbono Orgánico Disuelto			Cobre		
Sólidos totales en suspensión			Zinc		
Carbonato sódico residual meq/L		8,1	Suma de aniones		18,1
SAR	4,9	SAR ajustado	Suma de cationes		18,8
Dureza (°F = 1/10 x mg CaCO <sub>3</sub> /L)		39,9 Dura	Fiabilidad %		98,0

<p><b>SERVICIO AGRONÓMICO</b></p> <p>Polig. Ind. Cueva Bermeja, Vía Serv. Puerto, P.14 - 38180 Santa Cruz de Tenerife</p> <p>Tfno.: 922 59 69 03 Ext. 2 - Fax: 922 59 66 03 - laboratorio@canariasexplosivos.es</p> <p>www.canariasexplosivos.es</p>	<p>Fdo. José Luis Cruz García Químico colegiado nº 448 Canarias</p>
--	---