



**Universidad
de La Laguna**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
SECCIÓN DE INGENIERÍA AGRARIA

Grado en Ingeniería Agrícola y del Medio Rural

**Estudio de la interacción del agua
desalada y las cenizas volcánicas
en el crecimiento, desarrollo y
nutrición de plantas de platanera
(*Musa acuminata* Colla, AAA)**

Paula González Hernández

La Laguna, julio 2023

**AUTORIZACIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO
POR SUS DIRECTORES
CURSO 2022/2023**

DIRECTOR – COORDINADOR: Antonio Francisco Marrero Domínguez
DIRECTORA: María Mercedes Hernández González

como Director/es del alumno/a Paula González Hernández en el TFG titulado:
Estudio de la interacción del agua desalada y las cenizas volcánicas en el crecimiento,
desarrollo y nutrición de plantas de platanera (*Musa acuminata* Colla, AAA).

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 19 de junio de 2023

HERNANDEZ
GONZALEZ
MARIA
MERCEDES -
78415465R
78415465R

Firmado digitalmente
por HERNANDEZ
GONZALEZ MARIA
MERCEDES -
78415465R
Fecha: 2023.06.19
17:43:49 +02'00'

Fdo:.....

(Firma de los directores)

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE TRABAJO FIN DE GRADO

Página 1 de 1

IMPRESO P06

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <http://sede.ull.es/validacion>

Identificador del documento: 5531305□□□□ Código de verificación: oR2oN45E

Firmado por: Antonio Francisco Marrero Domínguez
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 20/06/2023 13:41:12



Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin una infinidad de personas, que lo han apoyado de principio a fin.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi tutor, el Dr. Antonio Francisco Marrero Domínguez por darme la oportunidad de realizar este Trabajo y transmitirme todos sus conocimientos y experiencia. A mi tutora, la Dra. María Mercedes Hernández González por acogerme y contagiarme su pasión y dedicación. He podido contar con ellos en cada paso de este proyecto, y ha sido todo un honor aprender de ambos durante todo el tiempo que me han regalado.

También quisiera agradecer al Excmo. Cabildo Insular de La Palma-Consejería de Agricultura por facilitarnos las cenizas usadas en el proyecto y a Cultesa por cedernos las plantas que han hecho posible el trascurso del ensayo. A los laborales de la Escuela y Departamento porque sin su trabajo, esto no habría podido salir adelante. Para llevar a cabo un TFG se necesitan recursos materiales y humanos, y he tenido la suerte de disponer de los dos.

A Alberto, por confiar en mí sin apenas conocerme, aguantarme y guiarme cuando lo he necesitado. Me has cambiado la vida.

A TODO el personal del IPNA-CSIC, pero especialmente al SFS; por enseñarme y ayudarme con tooodos los análisis que necesité, gracias por aceptar siempre mis muestras. He crecido muchísimo profesional y personalmente en el centro, porque uno se hace a su entorno y ellos son todos excepcionales.

A Adri, por ser mi inspiración. De mayor quiero ser como tú.

A Julito, mi informático.

A mis amigos, por apoyarme escuchando todas mis quejas, acompañarme mientras trabajo en llamadas interminables, leerse mucho texto, adaptarse a mis terribles horarios y simplemente, por estar siempre. También por mandarme a redactar cuando solo quería perder el tiempo, aunque eso supusiera posponer su tiempo conmigo.

A mi padre. Ojalá pudieras leerlo.



Abreviaturas

AD: Agua desalada

AC: Agua del Canal

CC/AD: suelo con capa de ceniza aplicada, regado con agua desalada.

CC/AC: suelo con capa de ceniza aplicada, regado con agua del Canal.

SC/AD: suelo sin capa de ceniza aplicada, regado con agua desalada.

SC/AC: suelo con capa de ceniza aplicada, regado con agua del Canal.

ns: $P > 0,10$

ns*: $P < 0,10$

*: $P < 0,05$

** : $P < 0,01$

***: $P < 0,001$



Índice

1. Introducción	2
2. Objetivos	3
3. Revisión bibliográfica	4
3.1. El plátano en Canarias.....	4
3.2. Características del cultivo	5
3.2.1. Taxonomía.....	5
3.2.2. Morfología.....	6
3.2.3. Condiciones ambientales	7
3.2.4. Necesidades nutricionales.....	8
3.2.5. Fitopatología y manejo.....	9
3.3. Agua de riego en Canarias.....	10
3.4. Volcán de Tajogaite	12
3.5. Ceniza volcánica en la agricultura	13
4. Materiales y métodos	15
4.1. Materiales empleados.....	15
4.1.1. Material vegetal	15
4.1.2. Suelo	16
4.1.3. Agua de riego	17
4.1.4. Ceniza	18
4.1.5. Fitosanitarios y fertilizantes	20
4.2. Diseño experimental	20
4.3. Toma de datos.....	23
4.3.1. Parámetros de crecimiento.....	23
4.3.2. Muestreo	24
4.4. Métodos analíticos	25
4.4.1. Suelos	25
4.4.2. Foliares	28
4.4.3. Agua.....	28
4.5. Métodos estadísticos	29
5. Resultados y discusión	30
5.1. Suelos	30
5.2. Crecimiento	34
5.3. Material foliar.....	36
6. Conclusiones	38
7. Conclusions	39



8. Referencias bibliográficas	40
--	-----------



Título: Estudio de la interacción del agua desalada y las cenizas volcánicas en el crecimiento, desarrollo y nutrición de plantas de platanera (*Musa acuminata* Colla, AAA).

Autora: Paula González Hernández.

Tutores: Antonio Francisco Marrero Domínguez, María Mercedes Hernández González.

Palabras clave: calidad del agua, erupción volcánica, suelos, nutrición mineral, hierro, textura del suelo.

Resumen

Tras la erupción del volcán de Tajogaite en La Palma, la producción de plátano ha disminuido. Además, se ha comenzado a utilizar agua desalada para el riego en las zonas afectadas. Se realizó un estudio en invernadero donde se establecieron cuatro tratamientos diferentes, que combinaron la presencia o ausencia de ceniza en el suelo y el tipo de agua de riego utilizada (del Canal del Norte de Tenerife o desalada). Los resultados demostraron que ni la ceniza volcánica ni el agua tuvieron efectos negativos significativos en la fertilidad química y física del suelo. Además, el hierro fue absorbido por las plantas en los tratamientos con ceniza. Las plantas regadas con agua desalada mostraron un menor desarrollo en comparación con las regadas con agua proveniente del Canal. Estos hallazgos pueden servir como base para futuras investigaciones y para optimizar las prácticas agrícolas en regiones con condiciones similares.



Title: Study of the interaction of desalinated water and volcanic ash in the growth, development and nutrition of banana plants (*Musa acuminata* Colla, AAA)

Author: Paula González Hernández

Directors: Antonio Francisco Marrero Domínguez, María Mercedes Hernández González

Key words: water quality, volcanic eruption, soil, mineral nutrition, iron, soil texture.

Abstract

After the eruption of the Tajogaite volcano in La Palma, banana production decreased. In addition, desalinated water started to be used for irrigation in the affected areas. A greenhouse study was conducted, establishing four different treatments that combined the presence or absence of volcanic ash in the soil and the type of irrigation water used (fresh or desalinated water). The results showed that neither volcanic ash nor water had significant negative effects on the chemical and physical fertility of the soil. Furthermore, iron was absorbed by plants in the treatments with ash. Plants irrigated with desalinated water exhibited lower development compared to those irrigated with fresh water. These findings can serve as a base for future research and for optimizing agricultural practices in regions with similar conditions.



1. Introducción

Canarias es una región extraperiférica de España que destaca, entre otros sectores, por su actividad agrícola. Las condiciones ambientales únicas de las islas, que incluyen una variedad de microclimas, junto con la calidad de los suelos volcánicos, hacen de Canarias un lugar adecuado para el cultivo de una amplia diversidad de productos. Entre los cultivos que mejor se adaptan a esta zona subtropical se encuentra el plátano.

La platanera (*Musa acuminata* Colla, AAA) es una planta de gran importancia económica y social en muchas regiones tropicales del mundo, ya que sus frutos son una fuente importante de alimento y generan empleo para numerosas personas. Sin embargo, la producción de plátanos se ve amenazada por la escasez de agua dulce en muchas zonas costeras, donde se suelen cultivar estas plantas. Específicamente, este problema se ha visto agravado en la isla de La Palma tras la erupción del volcán de Tajogaite, que ha dejado algunas zonas sin acceso a la red de riego (Revista mercados, 2022) y ha depositado cenizas en los cultivos.

Tras dicha erupción, se ha empezado a regar en la zona afectada con agua desalada para suplir la necesidad de riego (Renz, 2021). Por otro lado, las cenizas volcánicas son un subproducto natural de las erupciones y es necesario evaluar su efecto en el crecimiento y nutrición de las plantas afectadas, que han sido mayoritariamente plataneras. Este estudio permitirá evaluar cómo las cenizas pueden afectar a las plantas en condiciones controladas de invernadero, valorando las características de la ceniza del volcán de La Palma y del agua desalada, así como su influencia e interacción en el crecimiento, desarrollo y nutrición de las plantas de platanera.



2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es evaluar, en condiciones de invernadero, los efectos que puede tener la ceniza del volcán de Tajogaite y su posible interacción con el agua desalada en el crecimiento, desarrollo y nutrición de las plantas de platanera (*Musa acuminata* Colla, AAA).

Para ello, se han desarrollado los siguientes objetivos específicos:

- Evaluación de la fertilidad química/física de los suelos para este cultivo de platanera.
- Análisis de los parámetros de crecimiento y desarrollo del cultivo.
- Estudio de la nutrición foliar de los ejemplares.



3. Revisión bibliográfica

3.1. El plátano en Canarias

El banano es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, aunque este hecho no es muy conocido. Se cultiva en más de 120 países, abarcando cerca de 10 millones de hectáreas y produciendo alrededor de 88 millones de toneladas al año. En los países en desarrollo ocupa el cuarto lugar como cultivo alimentario más importante; después del arroz, trigo y maíz (Pérez Almeida, 2003).

Esta planta ha tenido diferentes usos a lo largo de la historia. Se cree que fue uno de los primeros cultivos domesticados por el hombre, e incluso antes de eso, los antepasados de los bananos silvestres podrían haber sido utilizados por los primeros pescadores del Sudeste de Asia, lugar de origen de estas plantas. Se piensa que la posibilidad de cultivarlos surgió debido a mutaciones en las especies silvestres con semillas, lo que resultó en plantas con frutas comestibles y sin semillas (Pérez Almeida, 2003).

En Canarias también supone unos de los cultivos más importantes, tanto desde el punto de vista económico como social. Desde 2013 se engloba con reconocimiento IGP (Indicación Geográfica Protegida) (Asprocan, 2023). Según datos del ISTAC, los rendimientos de la producción de plátanos se mantienen en torno a las 400.000 toneladas anuales (Gobierno de Canarias, 2023).

De las 40.026,7 hectáreas de suelo cultivadas en Canarias durante el año 2022, las plantaciones de plátanos ocupaban un total de 9.098,0 hectáreas, siendo el principal cultivo del archipiélago en términos de extensión, producción y valor económico. Las plantaciones se distribuyen por islas de la siguiente manera: Tenerife (4.001,9 ha), La Palma (2.962,2 ha), Gran Canaria (1.908,2 ha), La Gomera (157,0 ha), El Hierro (63,9 ha), Lanzarote (2,8 ha) y Fuerteventura (1,4 ha) (Gobierno de Canarias, 2023). No obstante, se ha producido una disminución en la producción debido a la erupción del volcán Tajogaite en septiembre de 2021, la cual cubrió 220 hectáreas de cultivo de platanera con lava en la isla de La Palma.

El promedio de producción en las Islas Canarias ronda los 50.000 kilogramos por hectárea al año, aunque algunas plantaciones logran alcanzar los 80.000 kg/ha. Incluso en el caso de cultivos ecológicos, se han llegado a obtener hasta 65.000 kg/ha. En otras regiones productoras del mundo, alcanzar los 40.000 kg/ha se consideraría un rendimiento excepcional (Instituto Canario



de Investigaciones Agrarias ICIA, 2010). Sin embargo, hay que mencionar que cada zona tiene distintos modelos de producción y estándares de cuantificación de rendimientos.

Además, es una fruta de gran importancia nutricional, ya que posee una cantidad elevada por porción comestible de vitamina B6 (0,52 g/100 g) y constituye una fuente importante de potasio (419,9 mg/100 g), fibra dietética total (2,22 g/100 g) y vitamina C (12,35 mg/100 g) (Fernández Cruz et al., 2021).

En resumen, el plátano es un cultivo de gran valor para Canarias, tanto desde el punto de vista económico como social. La alta calidad y sabor del plátano canario lo convierten en un producto muy valorado en el mercado, impulsando la economía de la región y promoviendo el mantenimiento de empleos.

3.2. Características del cultivo

3.2.1. Taxonomía

Musa acuminata Colla (AAA), conocida comúnmente como platanera, es una planta perteneciente a la familia Musaceae (Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias, s.f.) (Tabla 1). Es originaria del sudeste asiático y fue domesticada hace unos 7000 años; en la actualidad, cerca del 45% de los plátanos producidos son cultivares del subgrupo 'Cavendish' (AAA) (Israeli & Lahav, 2017), es decir, son cultivares triploides AAA (poseen tres juegos de cromosomas que provienen de *M. acuminata*, ninguno de *M. balbisiana*).

Reino	Plantae
División	Spermatophyta
Subdivisión	Magnoliophytina
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	Musa
Especie	<i>Musa acuminata</i> Colla

Tabla 1. Clasificación taxonómica del plátano canario (Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias, s.f.)



3.2.2. Morfología

Es una planta herbácea (su pseudotallo muere tras la recolección de su parte aérea, sin tener componentes leñosos), perenne (le emergen nuevos hijos para reemplazar las partes aéreas muertas) y siempreverde con características de árbol. Tiene un falso tallo funcional cilíndrico y macizo, conocido como pseudotallo. Su tallo verdadero consiste en un rizoma tuberoso y se encuentra parcial o totalmente subterráneo. Este rizoma posee varios meristemas, a partir de los cuales emergen los hijos siguiendo una distribución pentagonal. Su sistema radicular es débil y superficial, situándose a 30-40 cm de profundidad. Son definidas como raíces carnosas y adventicias, con ausencia de una raíz principal pivotante; por el contrario, a partir de un rizoma sano se pueden producir entre 200-500 raíces primarias (Draye, 2005).

Empieza a emitir hojas maduras a partir de los 6 meses. Se originan en la parte superior del rizoma (meristemo apical); en el interior del pseudotallo. A continuación, emergen en forma de cigarro, disponiéndose en espiral. En cultivares Cavendish, la lámina madura que surge tiene una longitud entre 1'5-2'8 m y un ancho 0'7-1'0 m (Robinson & Saúco, 2011). La distancia internodal de éstas es proporcional a la temperatura.

Posee un índice de área foliar (LAI) alto, por lo que también tiene requerimientos hídricos altos para suplir la transpiración. Se ha estudiado que en condiciones de campo puede alcanzar los 15-20 L por planta al día (Mahouachi, 2007).

Durante la etapa de floración (tras la emisión de una media de 24 hojas), la corona de hojas emite un tallo pubescente de 5-10 cm de diámetro, el cual culmina en un racimo colgante de 1-2m de longitud. Dicho racimo está formado por alrededor de veinte brácteas alargadas de color púrpura rojizo; de las axilas de estas brácteas emergerán las flores.

Los plátanos producidos son partenocárpicos: desarrollan pulpa sin haber sido polinizados. En el caso del grupo "Cavendish", posee frutos medianos, con piel amarilla y motas características y que se pueden consumir crudos. El subgrupo "Pequeña Enana", que alberga al plátano canario, desarrolla un pseudotallo de 1'8-2'0 m (Robinson & Saúco, 2011).



3.2.3. Condiciones ambientales

Al ser un cultivo tropical, tiene unos requerimientos exigentes, a menudo debiendo cultivarse en invernadero en determinadas zonas de las islas para poder alcanzar sus condiciones óptimas.

- Temperatura: La temperatura media diaria tiene gran influencia en el desarrollo y crecimiento del cultivo. La emisión de hojas se interrumpe por debajo de 16°C, y el crecimiento a los 14°C. La óptima para dicho crecimiento e iniciación floral es de 22°C, mientras que para la emisión de hojas se sitúa en los 31°C. Por ello, se ha encontrado que el balance óptimo entre desarrollo y crecimiento está en torno a los 27°C (Turner & Lahav, 1983). Cuando la temperatura media mínima mensual baja de los 9°C o la media mensual de los 14°C, se paraliza el crecimiento de la planta. No es visible, pero mueren los pelos radicales existentes y se emiten 0-0,5 hojas/mes. Esto puede alargar el ciclo productivo. Por otro lado, si la temperatura supera los 38°C comienza el marchitamiento de las plantas, lo que puede llegar a elevar la temperatura de las hojas a por encima de 47°C. En este caso, se necrosan y comienzan a morir.

- Humedad: Especialmente en el suelo, debe haber una humedad constante y alta. Sin embargo, puede llegar a ser perjudicial ya que favorece el ataque de patógenos como *Fusarium oxysporum* (Alvarez et al., 1981).

- Luz: El cultivo puede adaptarse a diferentes niveles de exposición solar, sin embargo, en áreas con alta nubosidad es necesario ajustar la densidad de siembra y la disposición de las plantas para maximizar la captación de luz. En el caso de los cultivos bajo estructuras cubiertas, es importante considerar el grado de transparencia de la cubierta, ya que esto puede afectar la duración del ciclo de crecimiento de las plantas (Nogueroles Andreu et al., 2014). Por otro lado, en plantas jóvenes, el cigarro puede presentar quemaduras por el sol.

- Viento: Puede jugar un papel beneficioso si es moderado, ya que desgarrar las hojas, y de acuerdo con Taylor y Sexton (1972), en las plantas del género *Musa* esto tiene un efecto positivo en la eficiencia de la fotosíntesis. Además, facilita la absorción de agua por las hojas y disminuye la intensidad del calor en situaciones de alta radiación. Sin embargo, en muchas zonas de cultivo al aire libre, es necesaria la presencia de muros cortavientos, ya que es una planta sensible a fuertes ráfagas (Pérez Almeida, 2003).



3.2.4. Necesidades nutricionales

En cuanto a sus requerimientos nutricionales, la platanera es una planta exigente que requiere una fertilización adecuada para un buen crecimiento y producción de frutos. Según diversos estudios, la platanera responde bien a la aplicación de fertilizantes orgánicos y minerales que contengan nitrógeno, fósforo y potasio. También se ha observado que la aplicación de calcio, magnesio y micronutrientes como el hierro y el zinc puede mejorar la calidad y cantidad de la producción de frutos.

El pH del suelo recomendado para su cultivo en Canarias es de 6,5-7,5 (Coplaca, 2023), pero en campo, sobre todo en las islas capitalinas, se cultiva en pHs superiores manteniendo unos rendimientos óptimos (Tabla 2).

PORCENTAJES DE SUELOS CON DIFERENTES VALORES DE pH EN LAS ISLAS CANARIAS								
pH	La Palma		La Gomera		Tenerife		Gran Canaria	
	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur
<5	29%	11%	20%	-	9%	-	4%	-
5-6	31%	21%	20%	-	9%	2%	11%	-
6-7	29%	27%	16%	10%	22%	8%	12%	3%
7-8	8%	27%	10%	40%	26%	19%	27%	26%
>8	3%	14%	34%	50%	34%	71%	46%	71%

Tabla 2. Variaciones de pH en los suelos de plataneras de las Islas Canarias, Fernández Caldas et al. (1971b)

Estos datos respaldan la idea de que el banano tiene un alto rango de tolerancia a distintos niveles de pH, aunque pHs extremadamente alcalinos pueden limitar la disponibilidad de microelementos. Por otro lado, se ha observado en varias ocasiones una relación entre el pH del suelo y la enfermedad conocida como Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum*), la cual tiende a desarrollarse principalmente en suelos ácidos (Alvarez et al., 1981).

Como para la mayoría de cultivos, se recomienda un suelo con una concentración de sales <2 mg/L para asegurar la movilidad de nutrientes en éste (Servicio de Agricultura del Cabildo Insular de Tenerife, 2014).

También debe tener una materia orgánica superior al 2% (Coplaca, 2023).

El potasio debe estar entre 200-350 ppm, el fósforo 200-600 ppm y la relación K/Mg entre 0'25-0'5 (Robinson & Saúco, 2011).



El boro asimilable en suelos ándicos se debe situar entre 6-12 ppm, y el foliar 30-60 ppm (Palacios et al., 2006).

El nitrógeno foliar debe estar entre 2'4-2'8%, el potasio 2'9-4%, fósforo 0'18-0'22% y calcio 1-1'7% (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2003).

3.2.5. Fitopatología y manejo

Las principales plagas y enfermedades de la platanera en Canarias son (ASPROCAN, 2012):

-Thrips: afectan al plátano durante la etapa de llenado, ya que se refugian en la bellota. Sus síntomas se presentan como manchas plateadas en la piel del fruto. Se pueden controlar mediante trampas cromáticas azules o depredadores como *Amblyseius cucumeris* o *Amblyseius swirskii*.

-Nematodos: gusanos microscópicos que debilitan las raíces y causan la caída de la platanera. Se puede controlar manteniendo unos niveles óptimos de materia orgánica.

-Lapillas: inmóviles en su primer estadio, requiere de control temprano ya que tarda en desarrollar su escudo. Transmisible de cítricos, como enemigos naturales tiene al *Aphytis melinus* y *Encarsia citrina*.

-Mosca blanca: se observa un recorrido en espiral de huevos blancos en el envés de las hojas. Para controlarla, se deben colocar trampas cromáticas amarillas o aplicar tratamientos previos de jabón potásico. Además, se debe evitar un exceso de nitrógeno, ya que atrae a la mosca blanca.

-Pulgón: es una plaga de fácil control si se trata a tiempo. Se puede combatir con fitosanitarios (jabón potásico) o depredadores naturales como la mariquita o las crisopas.

-Araña roja (*Tetranychus urticae*): en el envés de las hojas alrededor del nervio central, genera manchas de color blanco-plateado en frutos. Una alta humedad relativa disminuye su difusión (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2016).

-*Chrysodeixis chalcites*: conocida como lagarta de la platanera, causa daños en hojas tiernas y frutos. Se recomienda eliminar todos los restos vegetales y malas hierbas en los que pueda refugiarse. También se cuenta con enemigos naturales como parasitoides y depredadores.

-*Cosmopolites sordidus*: picudo negro de la platanera, tanto en estado adulto como en larva, que causa graves problemas al alimentarse del tallo y crear galerías, provocando amarilleamiento,



mal llenado del fruto e incluso la caída de la planta. El mejor método ecológico para controlarlo es colocar trampas en el suelo con cebos hormonales.

-Mal de Panamá: provocado por el hongo *Fusarium oxysporum*, es una enfermedad violenta que causa amarilleamiento de las hojas. No hay tratamientos específicos, por lo que se recomienda eliminar la planta afectada y aplicar cal agrícola al suelo. Se desarrolla mejor en suelos de pH ácido.

En Canarias, el cultivo de plátano bajo invernadero supone un total de 3350 hectáreas (Mapa de cultivos de Canarias, 2020). Sus ventajas son evidentes, entre las que podemos destacar (Robinson & Saúco, 2011):

-Un aumento de los días con temperatura media $>16^{\circ}\text{C}$, umbral de paralización del desarrollo foliar.

-Protección contra vientos, granizos, golpes de sol...

-Reducción del consumo hídrico, al disminuir la evapotranspiración hasta en un 25%.

-Aumento de la superficie foliar-capacidad fotosintética.

-Reducción del ciclo de cultivo, en algunos casos pudiendo realizarse 3 ciclos en 2 años.

-Producción de mayores racimos, con hasta un 62% más de peso.

-Limitación de transmisión de determinadas plagas y enfermedades.

Otro manejo común del cultivo es el uso de sorribas: son áreas de terreno creadas artificialmente al mezclar suelos de diferentes fuentes y características, y han sido utilizadas en la agricultura de las Islas Canarias desde los años 50. Estas parcelas han sido principalmente empleadas para cultivar plantas subtropicales como la platanera. Se sugiere que una opción para recuperar zonas agrícolas afectadas por la erupción del volcán Tajogaite es utilizar estas técnicas (Fernández Caldas et al., 1971).

3.3. Agua de riego en Canarias

El agua es un recurso limitado en las Islas Canarias debido a su clima semiárido y la falta de precipitaciones regulares. La mayoría de los cultivos en la isla requieren sistemas de riego para su supervivencia y desarrollo, incluyendo la producción de plátanos, que es el principal cultivo en términos de extensión, producción y valor económico en el archipiélago.



El agua de riego en Canarias se obtiene principalmente de acuíferos subterráneos y embalses construidos en las laderas de las montañas, así como de la desalinización de agua de mar. Según el informe del Instituto Canario de Estadística, en el año 2019 se desalinizaron en las islas 93'23 Hm³ de agua, de los cuales el 47'4% se destinó al uso agrícola (Gobierno de Canarias, 2023).

Respecto a las islas mayores, el consumo de agua de la isla de Tenerife relacionado con la agricultura es del 52% del total, y específicamente el plátano requiere 50'75 Hm³/año (Ritter et al., 2008). En la isla de Gran Canaria, se estimó que la demanda de agua de las plantaciones de plátanos era de 21'07 Hm³/año, que representa el 32% del consumo total de agua agrícola de la isla (Santamarta et al., 2023).

En la isla de Tenerife, emplazamiento de nuestro ensayo, podemos diferenciar entre tres tipos de agua, según su procedencia: de pozos/basales, galerías o depuradas y desaladas.

En el caso del agua proveniente de pozos o basal, la calidad del agua puede variar en función de la intrusión marina. Dado el caso, se observa una conductividad eléctrica elevada, y predominan el anión cloro y el catión sodio, con presencia de magnesio (Servicio de Agricultura del Cabildo Insular de Tenerife, 2014).

Por otro lado, las aguas subterráneas de las galerías se caracterizan por tener un pH elevado debido a la contaminación volcánica y la estabilización del dióxido de carbono con el aire. Predominan el anión bicarbonato y el catión sodio, y también se encuentra presente el magnesio.

El agua depurada requiere un manejo especial debido a su carga: por ejemplo, a la hora de fertilizar el plátano aportamos la mitad del nitrógeno, la totalidad del fósforo y la cuarta parte del potasio (Servicio de Agricultura del Cabildo Insular de Tenerife, 2014).

La desalada también necesita tratamientos específicos, como su remineralización. Su objetivo principal es cumplir con las regulaciones de la Unión Europea establecidas por el Real Decreto 140/2003 sobre agua de abastecimiento. Esta medida es especialmente importante para el agua desalada destinada al consumo humano, ya que debe ser estable al estar en contacto con la atmósfera.

Al ser remineralizada y usada en cultivos, tiene el efecto de aumentar el contenido de calcio en comparación con el sodio, lo que la hace más beneficiosa para los suelos y los cultivos al modificar la Relación de Absorción de Sodio (SAR). El SAR en el agua osmotizada (desalada) puede ser problemático para los suelos y los cultivos debido a su contenido de sodio, mientras que el agua remineralizada ofrece un SAR más bajo, reduciendo así los problemas relacionados



con el sodio. Sin embargo, este proceso puede elevar el pH más de lo recomendado (Hernández-Suárez, 2010).

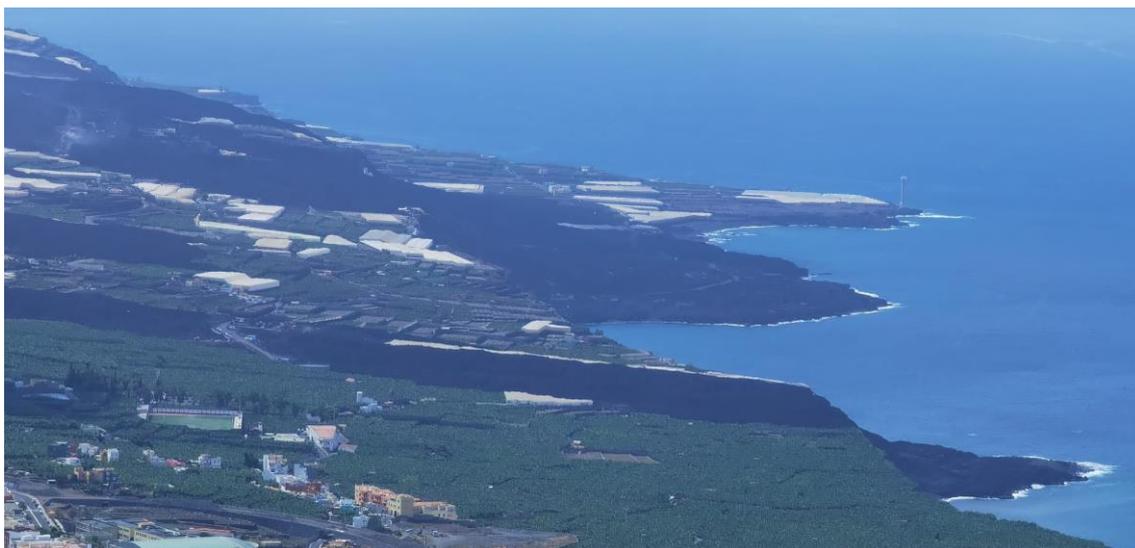
3.4. Volcán de Tajogaite

El 19 de septiembre de 2021 dio comienzo la erupción del volcán de Tajogaite en la zona oeste de La Palma (paraje Cabeza de Vaca, El Paso), la cual albergaba un alto porcentaje de la producción platanera de la isla. Entre el momento de la erupción y agosto de 2022 la producción disminuyó 53000 toneladas respecto a la media de los 10 años anteriores, lo que representa pérdidas del 37'8% (Revista Mercados, 2022)

Esta erupción duró un total de 85 días y dañó cerca de 600 hectáreas de plataneras, sumando las más de 200 que sepultó completamente y las que dejó aisladas o dañadas por cenizas y gases (Imagen 1). Dado que la mencionada ceniza sigue incorporada a los terrenos, queremos evaluar cómo puede llegar a afectar a largo plazo a la fertilidad química, física y biológica.

Tras la erupción, debido a que el sistema de riego proveniente de acuíferos se había visto dañado, se impulsó la instalación de una desaladora portátil para poder surtir a las fincas afectadas por los cortes de suministro. En varias zonas, como Las Hoyas y El Remo, se ha optado por regar con agua de abastos mezclada con la procedente de mencionada desaladora (comunicación telefónica con la Agencia de Extensión Agraria de Los Llanos, mayo de 2023).

Por ello, es importante estudiar la influencia del agua de riego utilizada para dicho cultivo.



. Imagen 1. Cultivos en invernadero y al aire libre en la zona afectada por las coladas volcánicas



3.5. Ceniza volcánica en la agricultura

Los estudios actuales realizados tras erupciones y deposición de cenizas en varias regiones volcánicas citan que la gravedad de su impacto depende de su grosor y composición. Mientras que un enterramiento delgado a moderado puede recuperarse en un año, un enterramiento grueso (25 mm a 150 mm) a muy grueso puede tener impactos a largo plazo en el suelo y cubierta vegetal, tomando como mínimo décadas en recuperarse (Jeremy Neild, 1998).

La erupción del Monte St. Helens, en Washington, tuvo diversos impactos en la agricultura de la región circundante. Mientras que algunos cultivos como trigo, papas y manzanas mostraron poca respuesta negativa a la ceniza, el heno de alfalfa se vio severamente afectado, aunque no resultó ser tóxico para el ganado. La ceniza también tuvo otros efectos negativos, como la reducción de la fotosíntesis de las plantas y resultó mortal para ciertos insectos como las abejas y los saltamontes. Aunque la ceniza tenía propiedades abrasivas, su impacto en los nutrientes del suelo y en la fertilidad fue mínimo. Sin embargo, se observó una reducción en la infiltración de agua y un aumento en el albedo de la superficie del suelo (Cook et al., 1981).

Un reciente experimento en invernadero buscó evaluar la influencia del tamaño de las partículas de ceniza, la pubescencia de las hojas y la humedad en la retención de cenizas en plantas de tomate y chile. Los resultados indicaron que la retención de cenizas disminuye con el aumento del tamaño de las partículas y está fuertemente influenciada por la pubescencia de las hojas y la humedad en su superficie, concluyendo que las partículas de ceniza fina representan un mayor riesgo para los cultivos. Los hallazgos también sugieren que una reducción en el índice de área foliar, como resultado de la retención de cenizas, podría utilizarse como una métrica confiable para estimar la pérdida de rendimiento de los cultivos (Ligot et al., 2022).

Otro estudio demostró que el efecto de las cenizas volcánicas posteriores a una erupción varió según el uso del suelo. Los sistemas basados en árboles mostraron mejores condiciones; mayor contenido de carbono orgánico y mejor estructura respecto a los cultivos anuales. Además, mostraron una mejor infiltración de agua. Por lo tanto, se concluyó que la recuperación del suelo depende de las especies vegetales y el manejo del suelo en cada sistema (Danny Dwi Saputra, 2022).

El uso de cenizas volcánicas como fertilizante no convencional en la agricultura también ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones.



En la península de Kamchatka, se realizaron experimentos utilizando cenizas volcánicas provenientes de los volcanes Shiveluch y Bezymianny. Combinadas con fertilizantes minerales convencionales, se ha demostrado un aumento de rendimiento en el cultivo de papa de entre 31-63% en 2014, 7-19% en 2017 y 14-31% en 2018. La experiencia de producción en el cultivo de pasto forrajero anual en 2016 también mostró un aumento del 32% en su rendimiento. Además, la proteína cruda en el pasto forrajero y el contenido de almidón en los tubérculos de papa aumentaron, y las papas mostraron una mejor resistencia a enfermedades. Este estudio mostró el potencial efecto beneficioso de las cenizas volcánicas en la productividad del ecosistema, ya que absorbe grandes cantidades de carbono de la atmósfera y crea suelos fértiles ricos en humus. De este estudio, surgió una patente de la fórmula para introducir las mencionadas cenizas en el cultivo usando fertilizantes minerales (Zakharikhina et al., 2022).

Otro estudio reveló que la ceniza volcánica contiene componentes principales como SiO_2 , Al_2O_3 , CaO y Fe_2O_3 . Sugiere que la ceniza volcánica tiene diversas aplicaciones en materiales de construcción, la industria cerámica, purificación de agua y geopolímeros. También destaca el impacto ambiental positivo de la ceniza volcánica en la creación de suelos fértiles para la agricultura. Sin embargo, se recomiendan precauciones y medidas de seguridad al manipularla debido a la presencia de bajos niveles de metales peligrosos que podrían tener efectos adversos en los ecosistemas y la salud humana (Shoroog Alraddadi, 2020).

También se ha propuesto el uso de ceniza volcánica (tefra) para mejorar el suelo y capturar carbono en países con volcanes activos como Indonesia. Se encontró que la tefra puede mejorar la fertilidad del suelo y capturar CO_2 atmosférico durante la meteorización. Además, se estima que la captura de CO_2 de los materiales volcánicos en Indonesia podría ser significativa, llegando hasta el 40% de las emisiones de combustibles fósiles del país durante años con erupciones volcánicas importantes. Se destaca su capacidad para absorber carbono y enriquecer los suelos, lo que la convierte en una solución natural para garantizar la seguridad alimentaria y la reducción de emisiones (Budiman Minasnya, 2021).



4. Materiales y métodos

4.1. Materiales empleados

4.1.1. Material vegetal

Se han utilizado 24 ejemplares de segundo ciclo de platanera -*Musa acuminata* Colla (AAA)- provenientes del cultivar “Gruesa palmera”, cuyas plantas de primer ciclo fueron obtenidas directamente de laboratorio (cedidas por Cultesa) el 20 de mayo de 2021. El deshijado del primer ciclo, y por lo tanto el establecimiento de nuestros ejemplares como planta principal se realizó alrededor del 17 de junio de 2022. Se denominaron como queda descrito en la Imagen 2. Se tomaron los hijos de espada en todos los casos.

Se plantaron desde el principio en contenedores de 300 L en el invernadero de la Escuela, el cual es de tipo canario y dispone de una cubierta de policarbonato.

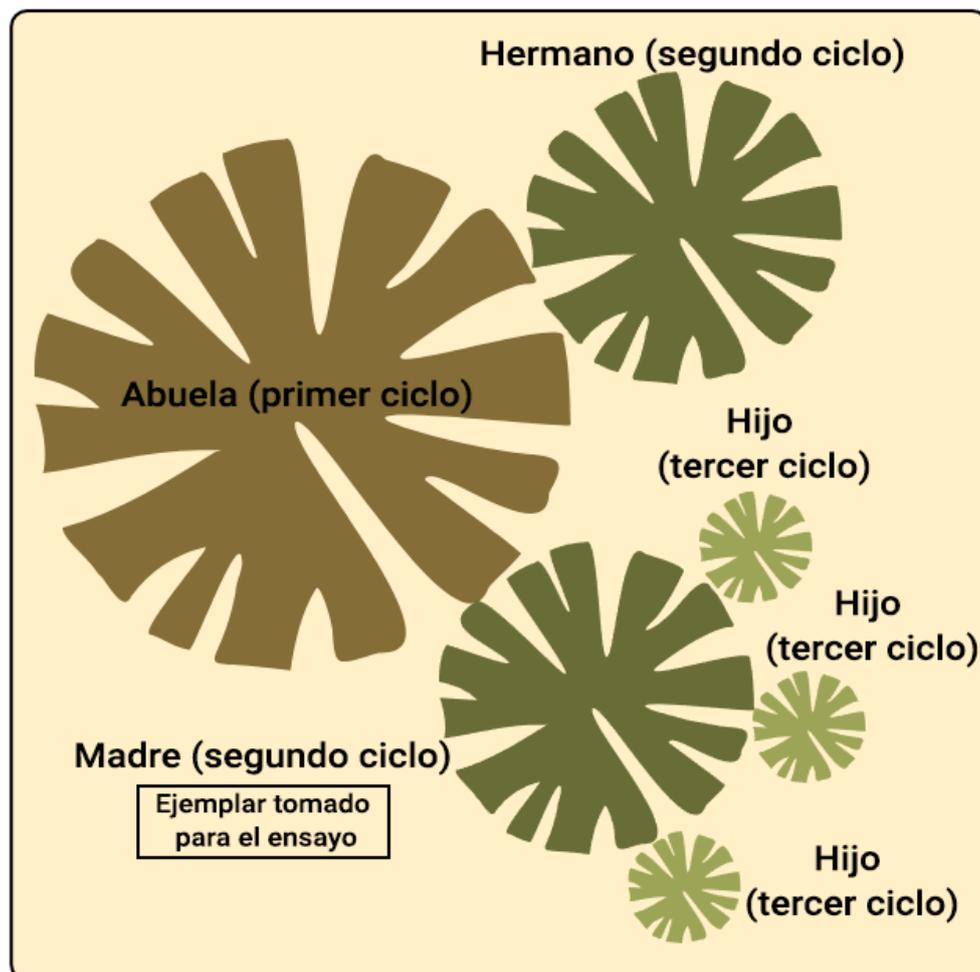


Imagen 2. Denominación de cada planta según el ciclo al que pertenece



4.1.2. Suelo

El suelo utilizado fue obtenido de la finca “Tahonilla Alta” (análisis básico expuesto en la Tabla 3). Tras un examen cualitativo, se define como franco-arcilloso, aireado y de fácil drenaje; lo que ayuda a contrarrestar el poco poder de penetración de la platanera y retiene el agua suficiente para su aprovechamiento. El 28/11/2021 se confirmó la textura del suelo mediante su análisis de porosidad y densidad y se procedió a la realización de su curva característica por parte del ICIA, a partir de 6 muestras (Figura 1).

18/06/2021	Unidades	Resultado
Materia orgánica	%	2'07
Fósforo Olsen	mg/kg (ppm)	38
Calcio cambiabile	meq/100 g	15'2
Magnesio cambiabile	meq/100 g	10'9
Sodio cambiabile	meq/100 g	1'9
Potasio cambiabile	meq/100 g	3'2
pH de la pasta saturada	-	8'3
Conductividad a 25º	dS/m	0'5

Tabla 3. Resultados del análisis del suelo antes de empezar el ensayo. Fue realizado por Canarias Explosivos

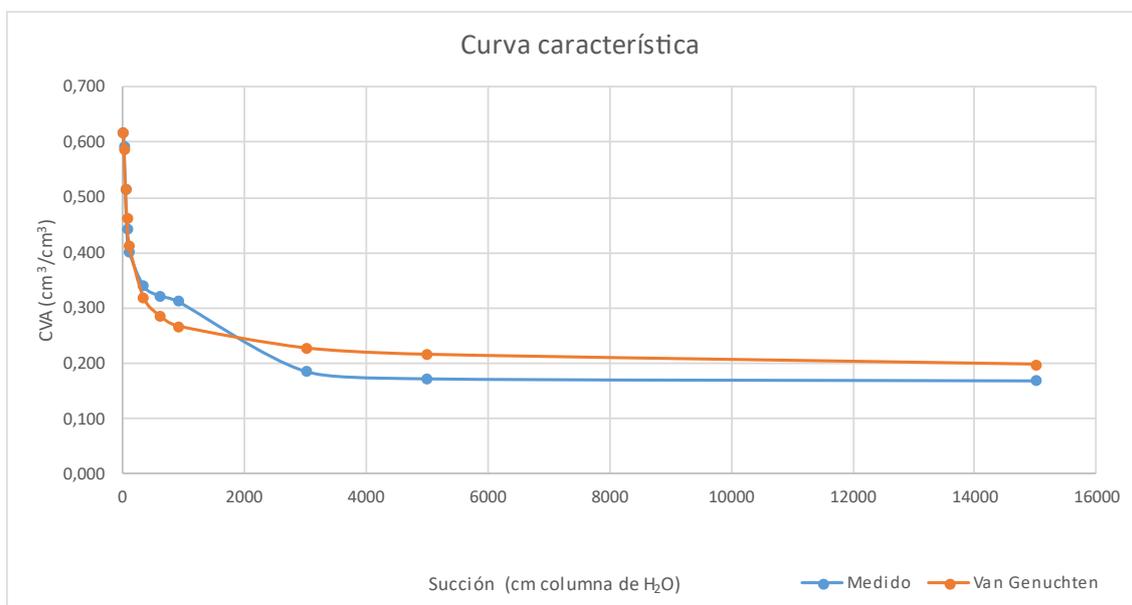


Figura 1. Curva característica del suelo utilizado en el ensayo, realizada por Carlos Álvarez Acosta



4.1.3. Agua de riego

En el desarrollo de este estudio se ha regado con dos aguas de diferente naturaleza, ya que representa uno de los parámetros a estudiar: agua del canal del norte de Tenerife (AC) y esa misma agua, desalada (AD). Ambas aguas fueron analizadas durante el transcurso del ensayo, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

20/12/2022	AC	AD
CE [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1062	43
pH	9'0	9'2
Ca^{2+}	12	1'6
Mg^{2+}	57	0'48
Na^{+}	110	6'7
K^{+}	27	2
CO_3^{2-}	51	3'3
HCO_3^{-}	482	21
SO_4^{2-}	12	0'21
Cl^{-}	32	0'59
PO_4^{3-}	0'20	0'08
NO_3^{-}	0'12	0'44
NO_2^{-}	0'59	0'59
F^{-}	0'01	0'01
B	No analizado	0'12

Tabla 4. Resultados del análisis de las aguas usadas para el riego. Las concentraciones se indican en mg/L. AC: Agua del Canal; AD: Agua Desalada

El agua desalada se ha obtenido tomando la del canal del norte y pasándola por un sistema de ósmosis inversa que consta de 3 filtros (sedimentos, carbón activo granulado y carbón activo en bloque) y una membrana semipermeable que han sido cambiados periódicamente. En este caso específico, para alargar la vida útil de los demás filtros, también se añadió un prefiltro. El agua usada corresponde a la zona de La Laguna, tiene un pH alto y también posee altos valores de niveles de carbonatos y bicarbonatos. Se aprecia la eficacia de la osmotización a la hora de bajar los niveles de casi todos los elementos en el agua (Taño, 2022). No obstante, el pH se mantiene muy alto en ambas aguas.



4.1.4. Ceniza

El otro parámetro a tener en cuenta es la aplicación de cenizas del volcán de Tajogaite a modo de capa cubriendo el suelo. Esto se ha hecho colocando en los tratamientos que lo llevan (indicados como CC) una capa superficial de grosor 3 cm que busca replicar, a pequeña escala, lo sucedido durante la erupción del mencionado volcán en la zona adyacente. La aplicación de ceniza se realizó el 22 de abril de 2022. Antes de su aplicación, se analizó químicamente (Tabla 5) y se realizó su análisis granulométrico (Tabla 6 y Figura 2)

Elemento	Valor
S [ppm]	352
Cd [ppm]	356
Pb [ppm]	1692
Co [ppm]	231
Ni [ppm]	446
Mo [ppm]	85
Cu [ppm]	111
Mn [ppm]	694
Zn [ppm]	26
Cr [ppm]	1552
Al [%]	3,4
Ca [%]	2,35
K [%]	0,81
Mg [%]	1,58
Na [%]	1,5
P [%]	0,27
B [%]	1,3
Fe [%]	3,6

Tabla 5. Resultados del análisis de la ceniza usada en el ensayo



Apertura de tamiz [mm]	Cantidad retenida [g]	Cantidad que atraviesa el tamiz [%]
5	0	100
2,5	2	99,5
1	65	84,5
0,5	179	42,9
0,25	126	13,7
0,1	54	1,2
0	5	0
Total	431	

Tabla 6. Distribución del tamaño de las partículas de las cenizas

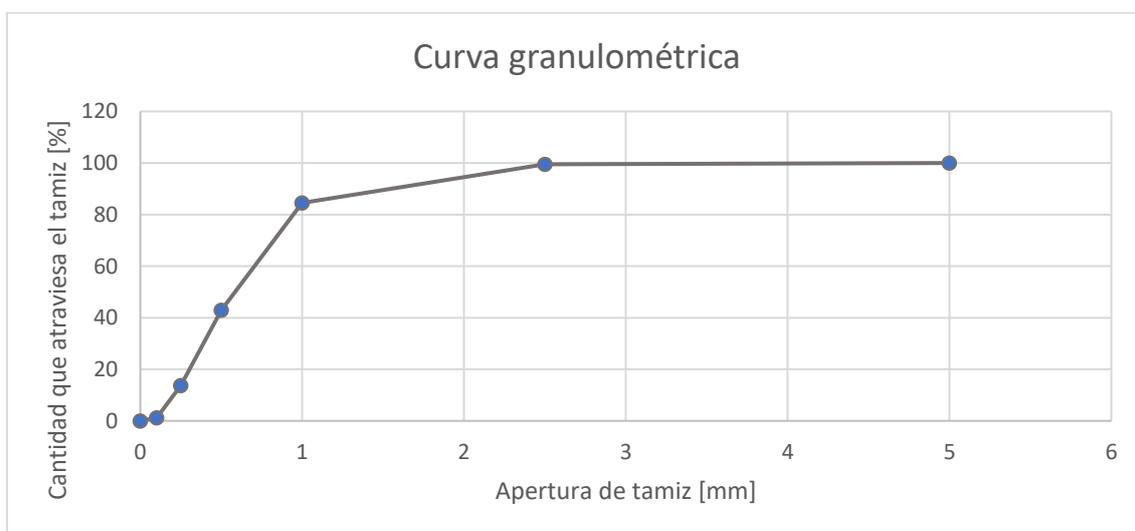


Figura 2. Curva granulométrica de la ceniza usada

Por lo tanto, nos encontramos ante una ceniza mayoritariamente de entre 0,25 y 1 mm de grosor, con una textura de arena. Además, contiene muchos de los nutrientes necesarios para el cultivo de la platanera.



4.1.5. Fitosanitarios y fertilizantes

Este ciclo de cultivo pasó por distintos tratamientos. El primero, de manera preventiva, se aplicó tras el deshijado del primer ciclo y fue de jabón potásico.

Se volvió a aplicar jabón potásico el 25 de octubre de 2022 y el 14 de marzo de 2023, debido a una plaga de pulgones en el cultivo.

Desde mitad de mayo a principios de julio de 2022 se aplicó un plan de fertilización dividido en 6 aportes mediante fertirrigación, a razón de 9'5 L/h en 3,5 h/semana. Cada planta recibió 99,75 gr de NPK 17:6:17 y 0,25 gr de calcinit 15,5% en total durante este tratamiento.

4.2. Diseño experimental

Se han considerado 4 tratamientos distintos, combinando la ceniza en el suelo/la ausencia de ella con el tipo de agua de riego utilizada, obteniendo los tratamientos **CC/AD**, **CC/AC**, **SC/AD** y **SC/AC** (Tabla 7). En el invernadero disponíamos de 24 plantas; estando distribuidas a una planta por contenedor de 300 dm³, por lo que se han realizado 6 bloques de repetición (Esquema 1, Imagen 3), cada uno de ellos conteniendo una repetición de todos los tratamientos posibles. Dentro de cada bloque, los tratamientos se han dispuesto de forma aleatoria para garantizar la fiabilidad de los resultados, ya que algunos ejemplares se encuentran al lado de plantas que pueden aportar sombra, otros al lado de pared, pasillo, etc.

Los tratamientos han resultado de la siguiente manera:

CC/AD: suelo con capa de ceniza aplicada, regado con agua desalada.

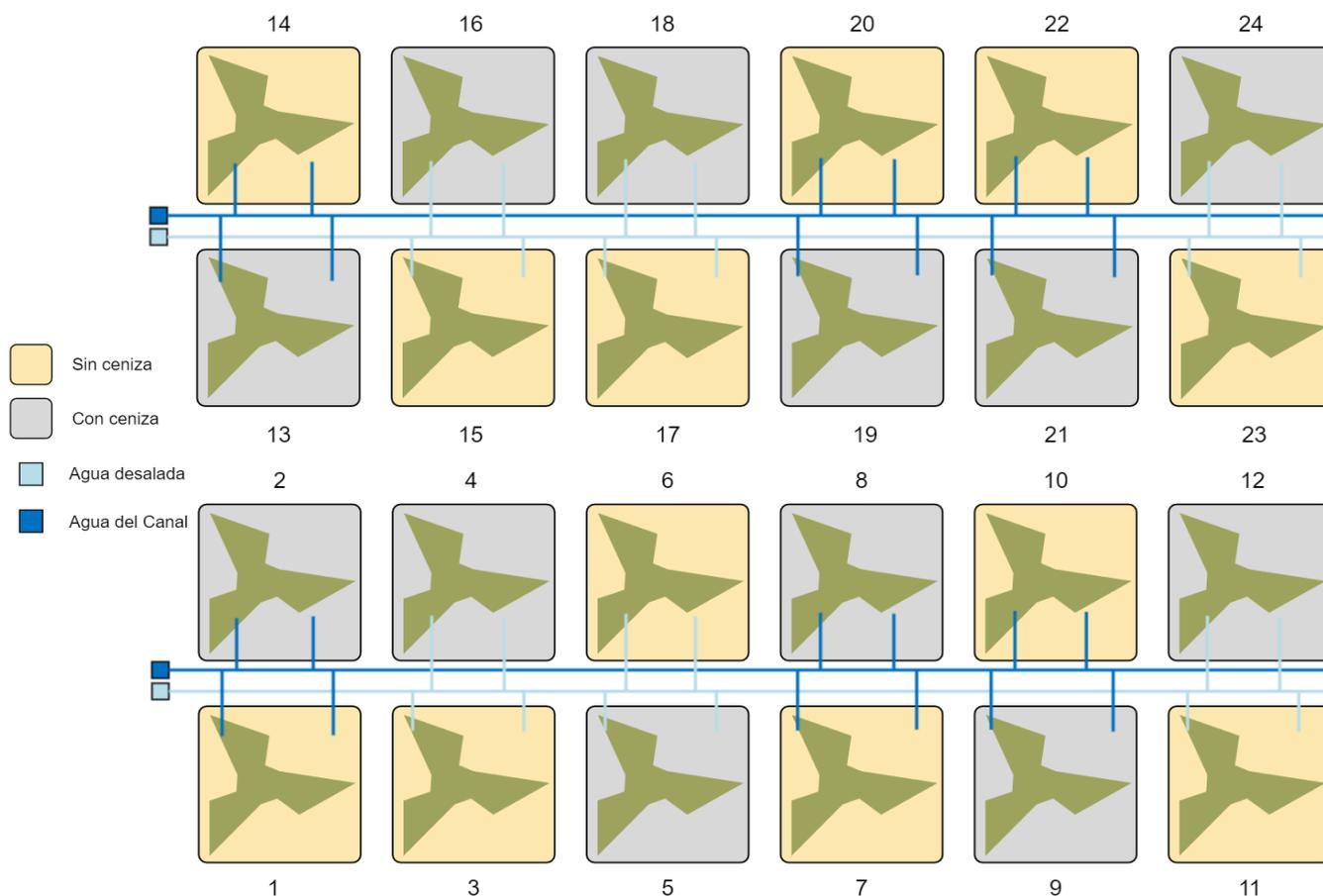
CC/AC: suelo con capa de ceniza aplicada, regado con agua del Canal.

SC/AD: suelo sin capa de ceniza aplicada, regado con agua desalada.

SC/AC: suelo con capa de ceniza aplicada, regado con agua del Canal.

	Agua Desalada	Agua Canal
Con Ceniza	CC/AD	CC/AC
Sin Ceniza	SC/AD	SC/AC

Tabla 7. Tratamientos obtenidos para el ensayo



Esquema 1. Representación del diseño experimental

Se han recogido los datos de humedad relativa y temperatura en el invernadero en intervalos de 15 minutos desde el 01/04/2022 al 30/11/2022, periodo que hemos tomado como la duración total del ensayo (Tablas 3 y 4). En los gráficos se puede observar cómo, por lo general, la humedad relativa media es inversamente proporcional a la temperatura.

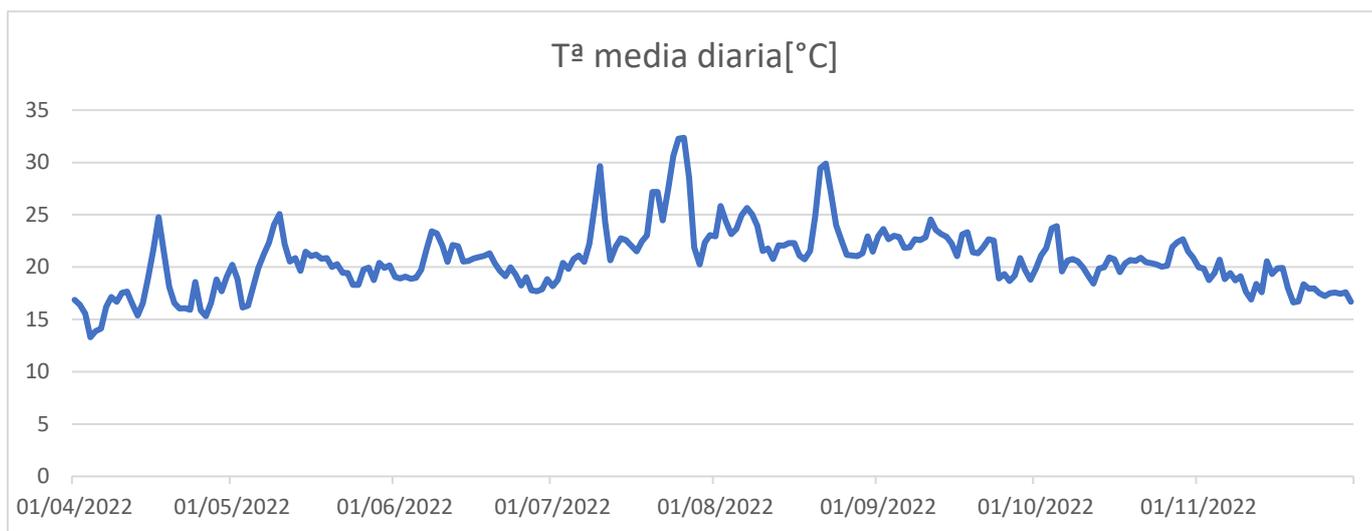


Figura 3. Temperaturas medias durante la duración del ensayo

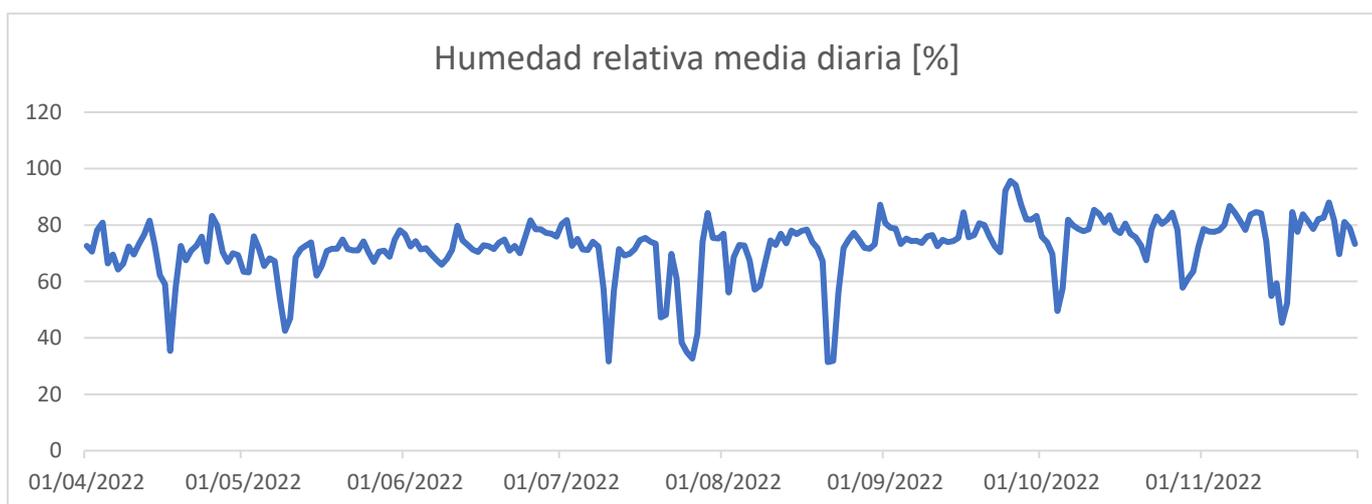


Figura 4. Humedades relativas diarias durante la duración del ensayo

Se ha regado según las necesidades, usando tanques que dispensan el agua por gravedad y microtubos; los cuales tienen un coeficiente de uniformidad del 98'6%, calificado como excelente. Para el agua desalada, se ha incorporado una bomba al sistema de filtración para llevar el agua del depósito de 1000L a los tanques de riego (Taño, 2022).



Imagen 3. Diseño experimental

4.3. Toma de datos

4.3.1. Parámetros de crecimiento

Para evaluar el crecimiento vegetativo, hemos recabado información de los siguientes parámetros:

-Altura: medida con cinta métrica desde el suelo hasta la inserción de la hoja más reciente.

-Perímetro: tomado alrededor del pseudotallo con cinta métrica a una altura de 50 cm sobre el suelo.

-Hoja más reciente: se siguió la numeración de hojas desde su comienzo, sin contar el cigarro.

-Hoja más antigua: la primera desde el suelo.

-Número de hijos/hermanos: diferenciando entre ellos. Se estableció un criterio uniforme para considerarles plantas desarrolladas (Imagen 4).

-Número y altura de los hijos (3^{er} ciclo): se cuentan los hijos que vienen de nuestra planta principal y se miden sus alturas, con cinta métrica como ya se había definido anteriormente.



- Número y altura de los hermanos (2º ciclo): se cuentan las plantas que provienen de la planta inicial de primer ciclo-sin contar a nuestra principal- y se determinan sus alturas, como para el resto de plataneras.



Imagen 4. Planta situada en el umbral en el que se le considera como desarrollada para tenerla en cuenta en el conteo

4.3.2. Muestreo

Para los análisis, se han tomado muestras foliares y de suelo. El muestreo se realizó el 05/12/2022. Las muestras foliares se han obtenido, como indica el método internacional de referencia (MEIR), cortando la parte central de la hoja III de todos los ejemplares, evitando el nervio central; por lo que se obtienen sus dos laterales en cada muestra (Prevel, 1980) (Figura 5). Las hojas se lavan, se ponen a secar en estufa a 65°C y se muelen.

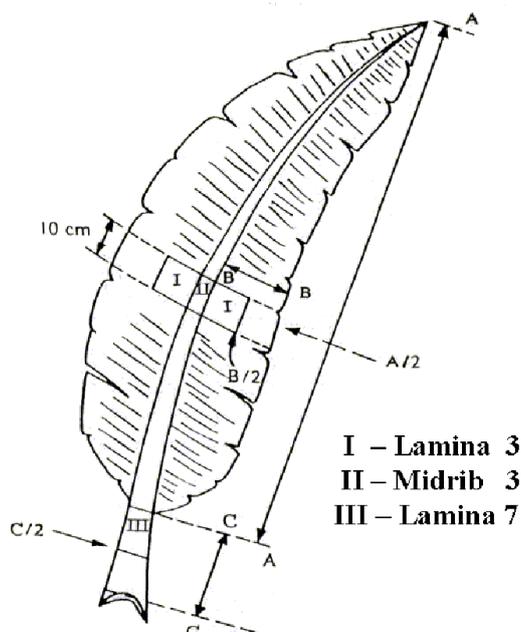


Figura 5. Representación de toma de muestras foliares según M. Prevel



A la hora de obtener los suelos, se ha retirado la capa superior de ceniza (en el caso de haberla) y tomado aproximadamente 1kg de muestra con una sonda de muestreo cilíndrica a 20 cm de profundidad en cada contenedor (Imagen 5). Tras recibir las muestras en el laboratorio, se lleva a cabo un proceso de pretratamiento que implica secar las muestras de suelo a temperatura ambiente con el fin de lograr una desintegración óptima de los terrones. Posteriormente, se someten a un tamizado con una malla de 2 mm para proceder a su pesado y poder realizar los análisis correspondientes.



Imagen 5. Muestreo de los suelos con ceniza

4.4. Métodos analíticos

4.4.1. Suelos

Los procedimientos empleados para analizar las características físicas y químicas de los suelos se detallan a continuación:

-Textura: se emplea el método del densímetro de Bouyoucos (Gee&Bauder, 1986). Se diluyen 40 gramos de muestra con 50 ml de hexametáfosfato sódico y 250 ml de agua destilada, agitando en un agitador rotatorio durante 12 horas. Luego, se toma lectura del hidrómetro a los 4 minutos y a las 8 horas y se mide la temperatura en cada lectura. Finalmente, se calculan los porcentajes de arena, limo y arcilla y se determina la textura correspondiente con el triángulo de la textura.



-pH: se pesan 20 gramos de suelo seco y se trasladan a un vaso precipitado de 100 ml. Se agregan 50 ml de agua milli-Q y se agita con un agitador de vidrio hasta conseguir una mezcla homogénea. Luego, se espera media hora y se lee el pH en un potenciómetro. La lectura se realiza utilizando un pH-metro equipado con un electrodo de vidrio, marca Crison, digital 501.

-Materia orgánica: se realiza mediante la oxidación del carbono orgánico con una solución de dicromato potásico en medio ácido. En este caso, se utiliza una muestra de 1 g de suelo para la determinación del porcentaje de materia orgánica.

Una vez obtenido el dióxido de carbono a partir de la oxidación, se realiza una valoración por retroceso con una solución de sulfato ferroso amónico (Sal de Mohr) para determinar la cantidad de carbono oxidado. Este proceso se realiza siguiendo el método de Walkley&Black modificado por la Comisión de Métodos Analíticos del Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología "José María Albareda" (Abadía et al., 1973).

El resultado de la valoración permite calcular la cantidad de carbono orgánico presente en la muestra de suelo, a partir de la cual se puede determinar el porcentaje de materia orgánica.

-P₂O₅, fósforo disponible: se extrae del suelo utilizando bicarbonato sódico, siguiendo el método Olsen (Olsen et al., 1954). Luego, se determina la cantidad de fósforo en el extracto utilizando un método colorimétrico a una longitud de onda de 882 nm, según el método adaptado por Watanabe y Olsen (1965) basado en el método de Murphy-Riley. La medición se realiza utilizando un espectrómetro FLUO STAR OMEGA.

-Pasta saturada: se pesan 250 gramos de suelo en un recipiente de 500 mL, se le agrega agua destilada en pequeñas porciones y se mezcla bien con el suelo agitando con una espátula hasta lograr el punto de saturación (se observa agua libre, al hacerle un corte éste se cierra). Se toma nota de los mililitros que se han agregado y se deja reposar durante 24 horas. Después de este tiempo, se verifica que el suelo siga estando saturado. De no ser así, se añade más agua y se registra la cantidad de mililitros añadidos. Posteriormente, se calcula el porcentaje de saturación correspondiente a cada suelo (Curbelo-Cruz, 2023).

-Conductividad eléctrica (C.E.): se mide la conductividad eléctrica del suelo colocando el electrodo del conductímetro directamente en el extracto de saturación de la muestra (midiendo la salinidad con un conductímetro marca Crison, modelo 522).

-Micronutrientes asimilables (Fe, Mn, Cu, Zn): se utiliza el método de extracción con EDTA (Ácido etilendiaminotetraacético) 0.02M en una proporción de 5 gramos de suelo en 50 ml de la



solución previamente preparada. La mezcla se agita durante 2 horas y luego se filtra para obtener la solución resultante que se analiza directamente en un ICP-OES Perkin Elmer Avio 500.

-Cationes solubles (Ca, K, Mg y Na): se analizan los cationes directamente en el extracto de saturación en un ICP-OES Perkin Elmer Avio 500, mediante espectroscopía de plasma.

-Aniones solubles (F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}): para este análisis, se utiliza un cromatógrafo iónico llamado Metrohm 883 Basic IC plus (Imagen 6), a partir del extracto de saturación.

-Cationes intercambiables (Ca, K, Mg, Na): Su extracción se realiza utilizando una disolución de acetato amónico 1M a un pH de 7. Se utilizan 10 gramos de suelo y 50 mL de la disolución de acetato amónico, y se agita durante 5 minutos con un agitador mecánico. Los cationes se determinan a partir de la disolución obtenida mediante el uso de un espectrómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICzP-OES) modelo Perkin Elmer Avio 500 (Curbelo-Cruz, 2023).



Imagen 6. Cromatógrafo iónico 883 Basic IC plus-Metrohm



4.4.2. Foliares

A continuación, se describen los métodos llevados a cabo para analizar las muestras de material vegetal:

-Nitrógeno: se utiliza el método de Kjeldahl (Kjeldahl, 1883). Se toman 0.1 g de cada muestra y se someten a una digestión con H_2SO_4 y un catalizador de Selenio. Luego se realiza una destilación con NaOH y se hace pasar por un sistema de refrigeración con una solución receptora que contiene ácido bórico (H_3BO_3). Finalmente, se valora la solución con HCl 0.1%.

-Macronutrientes y micronutrientes (Na, K, Mg, Ca, P, Mn, Fe, Cu, Zn y B): Se pesa 1 gramo del polvo obtenido al moler las muestras y se mineralizan sometiéndolas a una mezcla de HNO_3 y HCl (Chapman & Pratt, 1961) en un microondas y en medio ácido se produce una digestión; el resultado se filtra a un matraz de 50 ml enrasando con agua Milli-Q, en el cual se determinan estos elementos en un ICP-OES Perkin Elmer Avio 500.

4.4.3. Agua

Para analizar las aguas de riego, se han utilizado los siguientes métodos:

-pH: se realiza por el método electrométrico. La lectura se realiza con un pH-metro equipado con un electrodo de vidrio, de la marca Crison, digital 501.

-Conductividad eléctrica (CE): se realiza la medida de forma directa con un conductímetro marca Crison, modelo 522.

-Carbonatos y Bicarbonatos: se realiza una valoración ácido-base con el H_2SO_4 como agente valorante y la fenolftaleína y el mixto (Rojo de metilo-Verde de Bromocresol) como indicadores (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), 1994).

-Cationes (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , B): se miden con un ICP-OES AVIO 500 PERKIN ELMER.

-Aniones (SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- , F): se miden en un cromatógrafo iónico 883 Basic IC plus-Metrohm.



4.5. Métodos estadísticos

El análisis estadístico de los datos se ha realizado con el programa Excel 2021, situando cada variable a analizar en una tabla de doble entrada (para poder indicar la interacción entre agua y suelo). A continuación, cada tabla se ha sometido a un análisis de varianza de dos factores (con interacción) con varias muestras por grupo (6); inicialmente indicando una significación del 5%, pero dado que el programa nos calcula las probabilidades exactas, después hemos realizado una tabla de significaciones según los valores de 10, 5, 1 y 0'1 por ciento (Tabla 8); en función de si se ve observan diferencias atribuibles al tratamiento del agua, suelo o su interacción.

ns- $P > 0,10$
ns* - $P < 0,10$
* - $P < 0,05$
** - $P < 0,01$
*** - $P < 0,001$

Tabla 8. Relación entre la simbología usada y cada nivel de significación

El método estadístico utilizado (ANOVA-análisis de varianza) es una herramienta estadística que se basa en comparar las medias de dos o más grupos de datos en presencia de dos factores, también llamados variables independientes. En este análisis, se evalúa si hay una interacción significativa entre los dos factores; es decir, si la relación entre la variable dependiente y una de las variables independientes es diferente según el nivel de la otra variable independiente. Además, se determina si cada factor tiene un efecto significativo por sí solo en la variable dependiente. En este caso, se ha usado para comparar los efectos de los tratamientos aplicados a cada grupo. Además, se ha añadido la media para tener un valor único que represente a cada parámetro y la desviación estándar para cuantificar mejor la dispersión de los datos respecto dicha media.



5. Resultados y discusión

5.1. Suelos

A la hora de analizar la fertilidad física de cada suelo, los 4 tratamientos presentaron una textura franco arcillo arenosa, por lo que podemos concluir que ni la ceniza ni el agua han tenido influencia en el balance granulométrico del suelo (Tabla 9). Esta textura es adecuada para el cultivo de platanera, cuyos valores ideales se sitúan en torno a 30:10:60 de proporción arcilla:limo:arena para permitir la aireación mientras se mantiene el drenaje y la infiltración del agua (Robinson & Saúco, 2011).

Tratamiento	Arcilla [%]	Limo [%]	Arena [%]	Textura
CC/AD	22	12	66	Franco arcillo arenosa
CC/AC	22	15	63	Franco arcillo arenosa
SC/AD	21	14	65	Franco arcillo arenosa
SC/AC	21	13	66	Franco arcillo arenosa

Tabla 9. Resultados del análisis de textura de los suelos, a partir de una muestra compuesta de cada tratamiento

La fertilidad química de los suelos de este proyecto se expone en las Tablas 10 y 11 (a,b).

El pH muestra diferencias entre los suelos tratados con/sin ceniza, siendo significativamente superior en los que la tienen. Además, el tratamiento CC/AC tiene un pH superior a lo recomendado, aunque no representa un factor limitante dados los datos actuales de fincas de producción de platanera en Canarias, que presentan pHs incluso de 8,5.

Todos los suelos tienen un porcentaje de materia orgánica situado dentro de los valores recomendados, sin apreciarse diferencias según tratamiento. Por ello, se deduce que ni el agua utilizada ni las cenizas interfieren en este parámetro.

El fósforo asimilable tampoco se ve afectado por los tratamientos, y se encuentra en los valores estándar recomendados para este cultivo; debido a la fertilización a la que se sometieron.

A la hora de analizar los cationes del complejo de cambio, sin embargo, nos encontramos con diferencias altamente significativas. En primer lugar, el calcio en todos los tratamientos tiene unos valores absolutos bajos con respecto al magnesio; sobre todo para los tratamientos con ceniza. Ambos elementos son significativamente mayores en los tratamientos sin ceniza, por lo



que la ceniza, aunque contenga estos minerales (Tabla 5), no los presenta disponibles en el suelo. Esto mismo se aprecia en el potasio, con también valores mayores en los suelos sin ceniza.

Respecto al sodio, encontramos diferencias muy significativas al estudiar todos los factores: la aplicación de ceniza, el agua usada y la interacción de estos dos. En el tratamiento *SC/AC* se presentan los mayores valores de sodio, llegando a superar por más del doble al resto. De ello se puede deducir que la ceniza podría amortiguar en cierta parte los altos niveles de sodio aportados al suelo por el agua del Canal. Además, ambos suelos regados con agua del canal superan los valores máximos de %CIC relativos al sodio, que debe ser inferior al 8% (Coplaca, 2023).

Los niveles de conductividad de los extractos saturados se presentan altos en todos los tratamientos (Coplaca, 2023), mostrando diferencias significativas en sus tres parámetros: ceniza, agua y su interacción. Al igual que para el sodio, sus mayores índices se encuentran en el tratamiento *SC/AC*.

A la hora de analizar el porcentaje de saturación según tratamientos, nos encontramos con el único parámetro en el que el agua utilizada cobra relevancia y la aplicación de ceniza no; presentando saturaciones ligeramente mayores en los suelos regados con agua desalada.

Tratamiento	pH	MO [%]	P ₂ O ₅ [ppm]	CE [mS/cm]	Saturación [%]
<i>CC/AD</i>	7,54±0,43	2,31±0,33	122,78±23,04	10,43±1,79	37,67±0,52
<i>CC/AC</i>	7,95±0,41	2,56±0,34	165,07±12,07	6,86±1,14	36,83±1,17
<i>SC/AD</i>	7,12±0,29	2,63±0,20	180,88±62,91	10,60±2,27	38,17±0,75
<i>SC/AC</i>	7,29±0,67	2,45±0,32	158,98±31,77	12,87±2,34	36,5±1,38
Ceniza	*	ns	ns	**	ns
Agua	ns	ns	ns	**	**
Interacción	ns	ns*	ns	***	ns

Tabla 10. Fertilidad química de los suelos estudiados. Los resultados se presentan como media±desviación estándar



Tratamiento	Ca [meq/100g]	Mg [meq/100g]	K [meq/100g]	Na [meq/100g]
CC/AD	9,95±1,40	7,66±0,85	2,6±0,78	1,92±0,54
CC/AC	9,13±0,48	7,77±0,78	2,09±0,40	2,35±0,36
SC/AD	14,91±1,28	10,29±0,84	4,67±0,61	1,95±0,41
SC/AC	16,99±2,20	10,94±1,34	3,32±0,79	4,69±0,69
Ceniza	***	***	***	***
Agua	ns	ns	ns*	***
Interacción	*	ns	ns	***

Tabla 11a. Cationes intercambiables de los suelos. Los resultados se presentan como media±desviación estándar

Tratamiento	CIC [meq/100g]	Ca [% CIC]	Mg [% CIC]	K [% CIC]	Na [% CIC]
CC/AD	22,13	44,96	34,61	11,75	8,68
CC/AC	21,34	42,78	36,41	9,79	11,01
SC/AD	31,82	46,86	32,34	14,68	6,13
SC/AC	35,94	47,27	30,44	9,24	13,05

Tabla 11b. Relación de los cationes intercambiables de los suelos respecto a la capacidad de intercambio catiónica

Tras analizar las propiedades químicas, comentaremos los micro y macro nutrientes. En lo relativo a los micronutrientes en suelo (Tabla 12), no se observan diferencias significativas entre los tratamientos salvo para el zinc, que presenta su mayor valor en el tratamiento SC/AD. En este caso, la ceniza toma más importancia que los otros dos factores (agua e interacción), pero estos no pierden su significación.

El hierro, manganeso y cobre no muestran diferencias significativas entre tratamientos y sus niveles alcanzan los óptimos para el desarrollo del cultivo, incluso sobrepasándolos en el caso del hierro (20-50 ppm) y manganeso (2-10 ppm) (Medina Jiménez, 2016).



Tratamiento	Fe [ppm]	Mn [ppm]	Cu [ppm]	Zn [ppm]
CC/AD	73,59±3,78	40,24±3,38	3,14±0,16	2,7±0,39
CC/AC	76,73±4,45	36,47±4,09	3,31±0,42	2,47±0,25
SC/AD	69,45±6,46	41,17±3,25	3,08±0,19	4,08±0,67
SC/AC	71,6±4,21	40,85±4,49	2,98±0,17	2,82±0,62
Ceniza	ns	ns	ns	***
Agua	ns	ns	ns	**
Interacción	ns	ns	ns	*

Tabla 12. Micronutrientes encontrados en los suelos. Los resultados se presentan como media±desviación estándar

El calcio y magnesio solubles muestran el mismo comportamiento que los intercambiables, siendo menores en los tratamientos con ceniza (Tabla 13). Con respecto al tipo de agua, el riego con agua del Canal produjo una disminución en los niveles de calcio soluble. En cuanto al magnesio, se obtienen valores significativamente mayores en SC/AC y menores en CC/AC. En ambos casos existe interacción entre presencia de ceniza y tipo de agua usada.

El potasio soluble mostrado en el extracto de saturación es mucho menor en los tratamientos con ceniza, al igual que sucede en el potasio asimilable.

Con respecto al sodio, observamos la misma tendencia que en el intercambiable; se ve afectado por los tres factores estudiados y los niveles de sodio solubles son mayores en los tratamientos SC/AC, al igual que ocurre con el sodio disponible. Se aprecia que la concentración de sodio soluble en CC/AC es la menor, pero al compararlo con el sodio intercambiable obtenemos que este comportamiento no se manifiesta.

Tratamiento	Ca [ppm]	Mg [ppm]	K [ppm]	Na [ppm]
CC/AD	812,51±93,59	847,92±74,38	169,50±11,64	632,10±30,45
CC/AC	503,78±68,73	440,49±67,03	167,23±30,33	508,05±81,13
SC/AD	853,89±58,41	1036,32±59,42	462,86±106,3	869,61±56,40
SC/AC	786,51±88,85	1137,14±144,79	517,12±96,04	1953,64±161,39
Ceniza	***	***	***	***
Agua	***	***	ns	***
Interacción	**	***	ns	***

Tabla 13. Cationes solubles de los suelos. Los resultados se presentan como media±desviación estándar



Respecto a los aniones solubles (Tabla 14), el fluoruro se manifiesta mayor en el agua del canal, por lo que el agua desalada aporta menos (Taño, 2022).

El cloruro es diferente en todos los parámetros analizados. Podemos destacar que la ceniza no aporta este anión al suelo y el agua desalada, como era de esperar, manifiesta niveles menores de cloruro.

El nitrato es mayor en el tratamiento *SC/AC*, ya que la interacción juega un papel en este parámetro.

Los tratamientos con ceniza aportan niveles de sulfato apreciables al suelo. También se muestra interacción entre ambos factores.

Tratamiento	F ⁻ [ppm]	Cl ⁻ [ppm]	NO ₃ ⁻ [ppm]	SO ₄ ²⁻ [ppm]
<i>CC/AD</i>	2,45±0,21	141,92±22,43	2508,29±282,08	1178,86±112,89
<i>CC/AC</i>	2,73±0,12	149,44±30,89	2469,77±317,19	1120,26±76,01
<i>SC/AD</i>	2,44±0,17	168,69±48,79	2549,50±147,47	619,17±56,92
<i>SC/AC</i>	2,73±0,26	256,93±28,42	3050,90±441,02	794,35±56,67
Ceniza	ns	***	*	***
Agua	**	**	ns*	ns*
Interacción	ns	**	*	**

Tabla 14. Aniones solubles estudiados. Los resultados se presentan como media±desviación estándar

5.2. Crecimiento

A la hora de analizar los datos relativos al crecimiento de los ejemplares (Tabla 15 (a,b)), podemos ver que la altura, el perímetro y las hojas presentes en la planta se ven afectados por la calidad del agua; el agua del Canal muestra plantas más vigorosas, con más hojas presentes y mayor grosor y altura. Esto puede deberse a la necesidad que tienen las aguas desaladas de remineralizarse, lo cual no se ha realizado en este proyecto (Taño, 2022). Por lo tanto, en estos casos el agua de la red es más adecuada que la desalada pura, a pesar de tener un pH demasiado alto. En este momento surge la opción de regar con agua mezclada, lo cual se ha llevado a cabo en algunas partes de La Palma afectadas por la ceniza.



Se ha decidido no tener en cuenta la influencia del agua usada en el número de hermanos al presentar unas desviaciones estándar tan altas respecto a los valores de las medias.

Tratamiento	Altura [cm]	Perímetro a 50 cm	Hoja + reciente	Hoja + antigua
CC/AD	138,42±8,29	45,25±2,81	28,67±1,51	17,5±2,74
CC/AC	151,58±10,37	52,83±6,68	29±4,10	12,83±3,19
SC/AD	134±15,54	43,08±5,78	27,17±1,72	14,17±2,86
SC/AC	153,17±3,66	52,42±4,35	29,33±1,97	14,5±2,66
Ceniza	ns	ns	ns	ns
Agua	**	***	ns	ns*
Interacción	ns	ns	ns	*

Tabla 15a. Parámetros de crecimiento de las plantas. Los resultados se presentan como media±desviación estándar

Tratamiento	Hojas presentes	Nº hermanos (ciclo 2)	Nº hijos (ciclo 3)
CC/AD	11,17±2,32	2,17±0,75	2,17±0,75
CC/AC	16,17±2,64	1±1,55	2,5±1,76
SC/AD	13±1,67	1,5±0,84	2,33±1,03
SC/AC	14,83±2,48	0,83±0,75	2,5±1,22
Ceniza	ns	ns	ns
Agua	**	*	ns
Interacción	ns	ns	ns

Tabla 15b. Parámetros de crecimiento de las plantas. Los resultados se presentan como media±desviación estándar



5.3. Material foliar

Los datos nutricionales del cultivo (Tablas 16 y 17) mostraron diferencias significativas en sus valores de hierro; siendo más notables respecto al agua utilizada, pero también con el uso de cenizas e incluso siendo influenciado por la interacción de ambos factores. En todos los tratamientos está muy bajo, pero la peor situación se observa en **SC/AC**, y la mejor en **CC/AD**. Viendo estos datos, podemos confirmar la hipótesis de que la planta absorbe hierro de las cenizas que se encuentran en el suelo (Curbelo-Cruz, 2023), ya que presenta sus mayores valores en los casos en los que se ha aplicado la ceniza.

Podemos destacar que todos los tratamientos muestran un nitrógeno alto, los niveles de calcio y potasio son bajos aunque las plantas no hayan mostrado síntomas de deficiencias a lo largo de su desarrollo y muestran unos valores normales de magnesio y fósforo. El agua utilizada tiene influencia en el contenido de potasio foliar, siendo mayor en los tratados con agua del Canal, dado que el contenido de este nutriente es mayor en dicho agua (Fernández Falcón & Fox, 1985) (Bravo Rodríguez et al., 1980) (Álvarez et al., 1999).

Tratamiento	N [%]	Ca [%]	K [%]	Mg [%]	P [%]
CC/AD	3,11±0,14	0,59±0,17	2,17±0,21	0,47±0,06	0,12±0,01
CC/AC	3,19±0,25	0,54±0,10	2,39±0,33	0,47±0,05	0,12±0,02
SC/AD	2,98±0,38	0,58±0,06	2,03±0,28	0,48±0,06	0,11±0,02
SC/AC	3,03±0,13	0,45±0,11	2,38±0,13	0,5±0,06	0,11±0,005
Ceniza	ns	ns	ns	ns	ns
Agua	ns	ns*	*	ns	ns
Interacción	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla 16. Valores nutricionales del cultivo. Los resultados se presentan como media±desviación estándar

Respecto a los micronutrientes, el zinc se encuentra ligeramente bajo, menos en el tratamiento **CC/AD**. El sodio no supera los valores de fitotoxicidad y se mantiene uniforme, por lo que vemos que las diferencias en el suelo no se materializan en los valores foliares, es decir, que no afectan a la planta.



El cobre se encuentra en los valores ideales. Tanto el manganeso como el boro (sus valores ideales se sitúan entre 30-60 ppm (Palacios et al., 2006)) están ligeramente bajos. Acerca del manganeso, el tratamiento *SC/AC* sí se encuentra mucho más bajo de lo recomendado, pero esto no supone diferencias lo suficientemente significativas como para concluir que es un tratamiento perjudicial para la absorción de este nutriente.

Tratamiento	Zn [ppm]	Na [ppm]	B [ppm]	Cu [ppm]	Fe [ppm]	Mn [ppm]
<i>CC/AD</i>	20,44±4,84	406,23±41,28	18,89±3,40	8,8±2,22	82,25±11,05	79,46±13,93
<i>CC/AC</i>	16,88±2,46	407,1±20,41	17,21±2,29	9,05±1,42	66,39±7,20	72,11±10,02
<i>SC/AD</i>	14,57±4,87	410,92±34,48	18,09±3,83	9,24±3,28	62,64±3,54	73,11±15,99
<i>SC/AC</i>	17,93±4,99	424,44±29,14	18,71±4,51	8,84±1,49	59,69±4,23	55,42±14,28
Ceniza	ns	ns	ns	ns	**	ns
Agua	ns	ns	ns	ns	***	ns
Interacción	ns	ns	ns	ns	*	ns

Tabla 17. Micronutrientes observados a nivel foliar. Los resultados se presentan como media±desviación estándar



6. Conclusiones

Los suelos utilizados en todos los tratamientos presentan una fertilidad física adecuada sin apreciarse cambios entre ellos.

Los tratamientos con ceniza presentan un pH mayor, sin observarse ninguna interacción en este parámetro con respecto al agua de riego utilizada.

Los cationes intercambiables (calcio, magnesio, potasio) son superiores en los tratamientos sin ceniza, por lo que no aporta estos nutrientes a los suelos; los mismos presentan mayores índices de conductividad eléctrica, al igual que de sodio intercambiable cuando son regados con agua del Canal.

Estos nutrientes, en su forma soluble, muestran el mismo comportamiento respecto a la ceniza. En lo referente al calcio y magnesio, además se ven afectados por el agua y la interacción de ambos factores. En el caso del calcio, éste es menor al utilizar agua del Canal. El sodio de nuevo se ve influenciado por los tres parámetros, pero en este caso el agua del Canal no representa los mayores valores; la ausencia de ceniza, sí.

El potasio, tanto soluble como asimilable, también es menor en los tratamientos con ceniza.

El zinc es el único micronutriente cuyo contenido es más favorable en los suelos sin ceniza. Adicionalmente, también se ve condicionado por el agua utilizada.

Las plantas regadas con agua del canal son más vigorosas, con más hojas presentes y tienen mayor grosor y altura. En estas condiciones no se recomienda el uso de agua desalada sin remineralizar.

No se observó disminución de crecimiento ni desarrollo en los tratamientos con ceniza.

El hierro es absorbido por la planta en los tratamientos con ceniza, por lo que ésta puede ser una fuente de este micronutriente para el cultivo de la platanera.

Este trabajo de investigación ha sido un aporte técnico para comprender el posible uso de las cenizas del volcán de Tajogaité como fuente de minerales en el cultivo de platanera. A su vez, ilustra los beneficios/perjuicios del uso de agua desalada para regar estos cultivos. En las condiciones controladas en las que se ha desarrollado este experimento (las cuales no son extrapolables a las condiciones reales de campo de los cultivos de platanera en La Palma), podemos sugerir que las cenizas no suponen un inconveniente en la fertilidad química/física de los suelos de cultivo. Sin embargo, el uso de agua desalada como agua de riego debe considerarse con precaución en estas condiciones.



7. Conclusions

The soils used in all treatments present a physical fertility that is adequate, without noticing changes among them.

The treatments involving ash present a higher pH, without observing any difference in this parameter regarding the kind of water used for irrigation.

The exchangeable cations (Ca, Mg, K) are higher in the treatments without ash, so it does not provide the soils with these nutrients; they also have higher conductivity index, as well as exchangeable sodium when watered with fresh water.

These nutrients, in their soluble form, show the same behaviour regarding ash. When referring to Ca and Mg, they are also affected by the interaction of water and both factors. Regarding calcium, it is also lower when using fresh water. Sodium is again influenced by the three parameters, but in this case fresh water does not represent the higher values; the lack of ashes does.

Potassium, both soluble and assimilable, is lower when treated with ashes as well.

Zinc is the only micronutrient that is positive in soils with ash. Additionally, it is also conditioned by the kind of water used.

Fresh water shows stronger plants, with more leaves present and greater pseudo-stem diameter and height. In these conditions the use of desalinated water without remineralizing is not recommended.

No reduction in growth nor development was observed in the treatments with ash.

Iron (Fe) is absorbed by the plant in treatments with ash, so they might be a resource of this micronutrient for the cultivation of bananas.

This research work has been a technical input to comprehend the possible use of the ashes of Tajogaite's volcano as a source of minerals in banana cultivation. At the same time, it illustrates the benefits/cons of the use of desalinated water to irrigate these crops. Under the controlled conditions that this experiment was carried out (that can not be extrapolated to the real field conditions of the banana cultivations of La Palma), we can suggest that ash does not represent an inconvenient in the chemical/physical fertility of the cultivation soils. However, desalinated water is not an alternative for irrigation.



8. Referencias bibliográficas

- Abadía, A., Cadahía, C., Casado, M., Chaves Sánchez, M., & Lachica Garrido, M. (1973). Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos. (I) pH, Materia Orgánica y nitrógeno. *Anales de Edafología y Agrobiología*. Obtenido de <https://digital.csic.es/>
- Álvarez, C. E., Calzadilla, V. E., & Fernández Falcón, M. (1999). Chemical Fertility of Banana Soils of Tenerife Island (Canary Islands). *Fruits*, 54(3), 8.
- Alvarez, C. E., García, V., & Robles, J. y. (1981). Influence des caractéristiques du sol sur l'incidence de la Maladie de Panamá. *Fruits*, 36(2), 71-81.
- ASPROCAN. (2012). Calidad y sostenibilidad en el cultivo de la platanera en Canarias.
- Asprocan. (2023). *platanodecanarias.es*. Obtenido de <https://platanodecanarias.es/nuestros-platanos/un-producto-unico/>
- Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias. (s.f.). *biodiversidadcanarias*. Obtenido de <https://www.biodiversidadcanarias.es/biota/especie/F01813>
- Bravo Rodríguez, J. J., García, V., Díaz, A., & Álvarez, C. E. (1980). Estudios de Relación Suelo-Planta en los Cultivos de Plátanos en la Isla de La Palma (Canarias). *Anales de Edafología y Agrobiología*(5-6), 11.
- Budiman Minasnya, D. F. (2021). Applying volcanic ash to croplands – The untapped natural solution. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soisec.2021.100006>
- Chapman, H. D., & Pratt, F. P. (1961). Calcium and Magnesium by Titration Methods. (P. D. University of California, Ed.) *Methods of Analysis for Soils, Plants and Water*, 22.
- Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. (2003). *Normativa de Producción Integrada de Plátano del Gobierno de Canarias*. Santa Cruz de Tenerife.
- Cook, R. J., Barron, J. C., Papendick, R. I., & Williams, G. J. (1981). Impact on Agriculture of the Mount St. Helens Eruptions. *American Association for the Advancement of Science*, 16-22. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/1685507>
- Coplaca. (2023). *Cuaderno de campo* .
- Curbelo-Cruz, C. (2023). *Afección en cultivos de platanera de la ceniza procedente del volcán de la isla de La Palma en condiciones de invernadero*.
- Danny Dwi Saputra, R. R. (2022). Recovery after volcanic ash deposition: vegetation effects on soil organic carbon, soil structure and infiltration rates. *Plant Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05322-7>
- Draye, X. L. (2005). Distribution of banana roots in time and space: new tools for an old science. INIBAP.
- Fernández Caldas, E., Bravo Rodríguez, J. J., & García, V. (1971). *Contribución al Estudio de la Fertilidad de los Suelos de Plátanos en la Isla de La Palma (Canarias)*. (A. d. Agrobiología, Ed.) Madrid.



- Fernández Cruz, E., López Plaza, B., Santurnino, C., & Gómez Candela, C. (2021). Composición nutricional y declaraciones nutricionales del plátano de Canarias. *Nutrición hospitalaria*, 38(6), 1248-1256. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.20960/nh.03614>
- Fernández Falcón, M., & Fox, R. L. (1985). Efecto de la Fertilización Nitrogenada y Potásica sobre la Producción en el Cultivo del Plátano. *Anales de Edafología y Agrobiología*(9-10), 15.
- Gobierno de Canarias. (2023). *Instituto Canario de Estadística (ISTAC)*. Obtenido de <http://www.gobiernodecanarias.org/istac/estadisticas>
- Hernández-Suárez, M. (2010). *Guía para la remineralización de las aguas desaladas*. Fundación Centro Canario del Agua.
- Instituto Canario de Investigaciones Agrarias ICIA. (2010). *Primeras Jornadas de Transferencia I+D+i para una producción sostenible del plátano en las RUPs*.
- Israeli, Y., & Lahav, E. (2017). Banana. En *Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition)* (Vol. 3, págs. 363-381). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00072-1>
- Jeremy Neild, P. O. (1998). *Impact of a Volcanic Eruption on Agriculture and Forestry in New Zealand*.
- Kjeldahl, J. (1883). New method for the determination of nitrogen in organic substances. *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22(1), 366-383.
- Ligot, N., Bogaert, P., Biass, S., Lobet, G., & Delmelle, P. (2022). Grain size modulates volcanic ash retention on crop foliage and potential yield loss. Obtenido de <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-687>, 2022
- Mahouachi, J. (2007). Growth and mineral nutrient content of developing fruit on banana plants (*Musa acuminata* AAA, 'Grand Nain') subjected to water stress and recovery. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(6), 839-844.
- Medina Jiménez, F. (2016). *Propuesta de interpretación de análisis de suelos para cultivos hortícolas en Gran Canaria*. Revista agropecuaria.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (2016). *Guía de Gestión Integrada de Plagas para el cultivo de Platanera*. Madrid.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). (1994). Métodos oficiales de análisis. (D. g. Secretaría General de Alimentación, Ed.)
- Nogueroles Andreu, C., López-Cepero, J., Rodríguez Serrano, M., & Labrador, J. (2014). *Cultivo Ecológico de la Platanera*. España: Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE).
- Olsen, S., Cole, C., & Watanabe, F. y. (1954). Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. *USDA, circular n 939*.
- Palacios, M., Fernández-Vera, J. R., & Hernández-Moreno, J. (2006). Sustainable Irrigation Using Non-Conventional Resources: Boron Phytotoxicity for the Future? En *Proceedings of the International Symposium on Water and Land Management for Sustainable Irrigated Agriculture*. Turkey: Libro de Actas, Adana.



- Pérez Almeida, M. N. (2003). *Contribución al estudio del cultivo de la platanera. Deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio (tesis doctoral)*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10553/2266>
- Prevel, M. (1980). La nutrition minerale du bananier dans le mode. En *Fruits* (Vol. 35, págs. 503-593). Deuxione.
- Renz, O. (2021). *Coplaca transmite Oswaldo Renz agua desalada*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=zcZZP1v8yxl&ab_channel=LucioHern%C3%A1ndez
- Revista mercados. (2022). *El volcán de La Palma provoca pérdidas en los regadíos de casi 100M€*. Obtenido de <https://revistamercados.com/el-volcan-de-la-palma-provoca-perdidas-en-los-regadios-de-casi-100me/>
- Revista Mercados. (15 de Septiembre de 2022). La Palma pierde casi el 40% de su producción de plátano. Obtenido de <https://revistamercados.com/la-palma-pierde-casi-el-40-de-su-produccion-de-platano/>
- Ritter, A., Machín, N., & Regalado, C. M. (2008). Nuevas tecnologías para riego sostenible en platanera. (I. D. Riegos, Ed.)
- Robinson, J. C., & Saúco, V. G. (2011). *Plátanos y bananas*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Santamarta, J., Machín, N., & Cruz-Pérez, N. (2023). Irrigation Efficiency in Banana Crops in the Canary Islands. *The Open Agriculture Journal*, 16. <https://doi.org/https://doi.org/10.2174/18743315-v16-e221226-2022-49>
- Servicio de Agricultura del Cabildo Insular de Tenerife. (2014). Jornadas técnicas del plátano. Obtenido de https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt_541_Ponencia%202.pdf
- Shoroog Alraddadi, H. A. (2020). Characterization and potential applications of different powder volcanic ash. *Journal of King Saud University – Science*. Obtenido de <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Taño, J. (2022). *Diseño, instalación y puesta en funcionamiento de un ensayo piloto para el estudio de los efectos del riego con agua desalada en platanera*. Obtenido de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/30001/Diseno%2c%20instalacion%20y%20puesta%20en%20funcionamiento%20de%20un%20ensayo%20piloto%20para%20el%20estudio%20de%20los%20efectos%20del%20riego%20con%20agua%20desalada%20en%20platanera..pdf?sequence=1&>
- Turner, D., & Lahav, E. (1983). The growth of banana plants in relation to temperature. *Australian Journal of Plant Phisiology*.
- Zakharikhina, L. V., Litvinenko, Y. S., & Gainatulina, V. V. (2022). Volcanic Ash Application in Agricultural Practice. *Universal Journal of Agricultural Research*, 10(1), 77 - 87. <https://doi.org/10.13189/ujar.2022.100107>

