

## INFORME TÉCNICO

### EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA EN SUELOS SOBRE LA SALUD DEL SUELO EN EL CULTIVO DE PLATANERA

#### FINCA EXPERIMENTAL DE LA COOPERATIVA AGUSA (COPLACA) EN LA ISLA DE LA PALMA

Mónica González González<sup>1</sup>, Marta Selma Garzón Molina<sup>1</sup>, Carlos Álvarez Acosta<sup>2</sup>, Federico Laich<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Laboratorios, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA)

<sup>2</sup> Departamento de Producción Vegetal en Zonas Tropicales y Subtropicales, ICIA

<sup>3</sup> Unidad de Protección Vegetal, ICIA

#### Justificación

La erupción de 19 de septiembre de 2021 en el paraje denominado Cabeza de Vaca, en el municipio de El Paso, isla de La Palma, ha acarreado intensos daños en los cultivos, infraestructuras de riego, sistemas de protección de cultivos y vías de comunicación de las explotaciones agrícolas de este municipio y de los colindantes Los Llanos de Aridane y Tazacorte. Debido a esto, la actividad agraria de la zona se paralizó, provocando consecuencias de alto alcance económico y estructural. La falta de riego provocó la pérdida de producción en el Valle de Aridane. La caída constante de ceniza volcánica produjo daños fisiológicos en las plantas y los gases vinculados a este proceso geológico provocaron daños y muerte de tejidos vegetales y animales. Además, la pérdida de zonas de cultivo al quedar cubiertas por las coladas de lava se estima en 370 hectáreas, de las cuales 228 serían de cultivo del plátano.

Como consecuencia de la erupción, millones de metros cúbicos de cenizas cubrieron muchas de las fincas en las que se plantan plátanos en la isla de La Palma, las cuales, ante la imposibilidad de retirarlas, en la mayoría de los casos las cenizas se han dejado en las fincas. El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de mezclar distintas cantidades de ceniza sobre la salud del suelo en el cultivo de platanera.

#### Metodología

##### 1. Descripción del ensayo en la finca experimental de la cooperativa AGUSA, Coplaca

La cooperativa de segundo grado Cooperativa Platanera de Canarias (COPLACA) desarrolló un ensayo en la parcela de plátano (28°48'12.1"N 17°45'51.8"W) situada en el municipio de los Sauces (La Palma) perteneciente a la Cooperativa S.C.L. del Campo Agricultores Guanche (AGUSA), asociada a COPLACA. Por su ubicación, la ceniza volcánica no llegó a esta parcela, por lo que para el ensayo se trajo ceniza de la zona afectada por la erupción. El ensayo se montó el 11 de enero de 2022 por personal de COPLACA y AGUSA, 29 días después del final de la erupción del volcán Tajogaite.

Los tratamientos que son objeto de este estudio sobre el efecto en la salud del suelo fueron: i) un tratamiento control, en el que el suelo no se mezcló con ceniza; ii) una dosis de ceniza en superficie de 5 cm de espesor (sin incorporar al suelo; sólo muestreado para análisis microbiológicos); iii) una dosis de ceniza en superficie de 5 cm que posteriormente se mezcló con el suelo mediante un motocultor y iv) una dosis de 20 cm incorporada al suelo de la misma manera que la anterior. Esta ceniza se aplicó en un radio de 1,15 m con respecto al hijo, es decir, de 4 m<sup>2</sup> por planta. Esto equivale a usar 200 l de ceniza en las plantas con



5 cm de ceniza y 800 l en las plantas con 20 cm de ceniza. Se utilizaron 5 repeticiones de cada tratamiento: 20 plantas en total.

El efecto de la mezcla de cenizas con el suelo, sobre la salud del suelo, se realizó mediante distintos indicadores. Los indicadores físicos evaluados fueron: capacidad de campo, textura y granulometría. Los indicadores químicos evaluados fueron: materia orgánica oxidable, fósforo asimilable, cationes de cambio (calcio, magnesio, sodio y potasio), pH y conductividad eléctrica. Los indicadores microbiológicos evaluados fueron: bacterias aerobias totales, *Pseudomonas* fluorescentes, *Bacillus mycoide*, Actinobacterias, *Streptomyces* spp., hongos filamentosos y *Trichoderma*.

## 2. Muestreo

El muestreo para la evaluación de la salud del suelo se realizó el 16 de febrero de 2022, 36 días después del montaje del ensayo, y fue realizado por investigadores del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA).

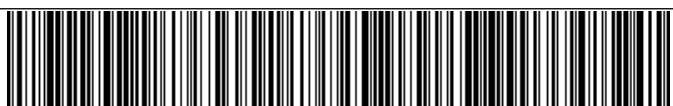
Para la determinación de la capacidad de retención de agua del suelo, se tomaron 3 cilindros de suelo inalterado de cada tratamiento, en la superficie del suelo sin ceniza y sin restos vegetales.

Para la determinación del resto de indicadores físicos y de los indicadores químicos y microbiológicos de salud del suelo, una vez quitados restos de ceniza y de vegetación de la superficie del suelo, se tomaron 5 submuestras con un barreno estándar (0-20 cm de profundidad), a partir de la zona rizosférica de las plantaneras, de cada una de las repeticiones (n=5) de cada tratamiento: suelo control, 5 cm de ceniza incorporada y 20 cm de ceniza incorporada. Para la evaluación microbiológica se muestreó también suelo con 5 cm de ceniza en superficie, sin incorporar. Asimismo, se tomaron muestras de la ceniza superficial de cada tratamiento con el objetivo de determinar su granulometría, textura y características químicas y microbiológicas de este material.

## 3. Metodología de análisis

### 3.1. Indicadores físicos de salud del suelo

En el Laboratorio de Física de Suelos del ICIA se determinaron las *curvas características de retención de agua* en los distintos tratamientos. Para ello se utilizaron dos dispositivos, unas células de presión (Tempe) hasta 0,9 bar y los platos de presión de las ollas de Richard para presiones superiores hasta 15 bar. (Klute, 1986). Para medir la cantidad de agua disponible para la planta se tomaron en consideración dos puntos, por un lado el punto de marchitez permanente por debajo del cual las plantas no pueden absorber agua, que se determinó a -1500 kPa, y la capacidad de campo o punto en el cual el flujo de agua gravitacional cesa tras un riego o lluvia, que se determinó entre -5 y -33 kPa (Tolk, 2003). Una vez se hicieron las curvas se ajustó un modelo (van Genuchten, 1980) para predecir los valores que relacionan tensión y contenido volumétrico de agua (CVA,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ), dentro del intervalo de medida. La determinación de la capacidad de campo se hizo mediante el cálculo de la intersección de la tangente al punto de inflexión de cada curva con la tangente al punto de marchitez permanente (Dexter, 2004; Reynolds *et al.*, 2009; Liang *et al.*, 2016; Mbabazi *et al.*, 2017), entendiéndose por punto de inflexión el punto donde se separan los poros del suelo “estructurales” de los “texturales” o punto que separa el drenaje rápido del lento. El agua útil que puede retener un suelo, o la cantidad de agua disponible para las plantas, se determina restando el CVA a capacidad de campo menos el CVA en el punto de marchitez. Un suelo arcilloso puede tardar varios días en llegar a capacidad de campo, en esos días es obvio que las plantas absorberán agua, por lo que el agua útil



está infravalorada si se hace restando capacidad de campo y punto de marchitez. No obstante, para comparar curvas de retención sigue siendo un método útil y teniendo en cuenta que los suelos deben estar también aireados, en esos suelos pesados es necesario también dejarlos secar algo más para que la aireación sea algo mejor.

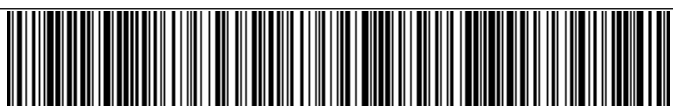
Previa a la caracterización de la textura y la granulometría en la Unidad de Laboratorios del ICIA, la ceniza y los suelos se secaron a temperatura ambiente. La *textura* se evaluó mediante el método descrito en la norma UNE-EN 103102:1995 (1995), en el cual el contenido de arena, limo y arcilla se determinó por el densímetro de Boyoucos, en muestras previamente tamizadas con un tamiz de 2 mm de luz de malla. La clase textural se determinó a partir de la composición granulométrica de acuerdo a los criterios del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (United States Department of Agriculture, USDA) (Schoeneberger *et al.*, 2002). La *granulometría (%)* o medida del contenido de arenas y elementos gruesos, se realizó mediante cribado en tamices con diferentes diámetros: 25; 20; 16; 12,5; 10; 8; 6,3; 5,6; 4; 2,8; 2; 1,4; 1; 0,71; 0,5; 0,355; 0,25; 0,18; 0,15; 0,125; 0,05; 0,02 mm de luz de malla. Se utilizó un procedimiento basado en la norma UNE-EN 130101:1995 (1995).

### 3.2. Indicadores químicos de salud del suelo

Previa a la caracterización de las propiedades químicas, los suelos se secaron a temperatura ambiente, se pasaron por un tamiz de 2 mm de luz de malla y se homogeneizaron. La *materia orgánica oxidable (%)* se analizó mediante la oxidación con dicromato potásico en medio ácido y valorado con la sal de Mohr, mediante procedimiento adaptado a partir del descrito por Walkley y Black (1934). El *fósforo asimilable (mg/kg)* se analizó según el método colorimétrico de Olsen *et al.* (1954). Los *cationes de cambio del suelo (mEq/kg)*, calcio, magnesio, potasio y sodio, se extrajeron con acetato amónico neutro 1N y se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica de llama (Bower *et al.*, 1952). El *pH en extracto acuoso 1:5 (v:v)* y *en extracto en cloruro potásico 1:5 (v:v)* se determinaron mediante potenciometría con electrodo combinado de vidrio, con un procedimiento basado en la Norma UNE-ISO 10390:2012 (2012) y la *conductividad eléctrica en extracto 1:5 (mS/cm,  $\mu$ S/cm)* mediante conductímetro con el método basado en la Norma UNE-EN 77308:2001 (2001). El tratamiento estadístico de los datos consistió en un análisis de varianza (ANOVA) y un test de comparación de medias LSD (*Least significant difference*) de Fisher.

### 3.3. Indicadores biológicos de salud del suelo

Cada una de las muestras (5 repeticiones por tratamiento) fue analizada por duplicado por medio de métodos dependientes de cultivo: se cuantificó y se determinó la biodiversidad de las bacterias aerobias totales, *Pseudomonas* fluorescentes, *Bacillus mycoide*, Actinobacterias, *Streptomyces* spp., hongos filamentosos y *Trichoderma*. La cuantificación de cada grupo/tipo microbiano se realizó por medio de la técnica de dilución seriada (1/10) y siembra en placa de Petri con medios de cultivo específicos y selectivos para cada caso. El recuento se expresó en unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (ufc/g) y posteriormente se realizó un ANOVA (previa transformación cuadrática de los datos) y un test de comparación de medias (Tukey). La identificación de cada grupo microbiano se realizó por medio de las características macro y micromorfológicas de las colonias. En este último caso se utilizó un microscopio óptico de contraste de fase y se realizaron microcultivos cuando fue necesario. Los microorganismos de interés observados, fueron conservados en un crioprotector a -80°C para su análisis posterior, y se incorporaron a la colección de cultivos de microorganismos de la unidad de Protección Vegetal (PV) del ICIA. Asimismo, en determinados casos se realizó la identificación de los aislados a nivel específico, utilizando métodos de biología molecular y análisis filogenético de las secuencias de ADN (actividad realizada en el laboratorio de Biología Molecular de PV-ICIA).



## Resultados

### 1. Efecto de la aplicación de ceniza volcánica sobre los indicadores físicos de salud del suelo

La densidad aparente del suelo control (sin ceniza mezclada) fue de  $1,17 \pm 0,09 \text{ g/cm}^3$ . Al añadir ceniza esta densidad disminuyó hasta  $1,10 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$  cuando se mezclaron 5 cm de ceniza con el suelo y  $1,01 \pm 0,13 \text{ g/cm}^3$  en el caso del que se mezclaron 20 cm de ceniza. El efecto sobre la porosidad total fue el opuesto al de la densidad aparente, es decir, al aumentar la cantidad de ceniza mezclada la porosidad aumentó, pasando de un 56% en el caso de la muestra control a un 58% al mezclar 5 cm de ceniza y 62 % al mezclar 20 cm de ceniza.

A medida que aumenta la ceniza que se mezcla con el suelo, se puede observar como el agua es retenida con menor tensión y todo esto afecta a la cantidad de agua útil disponible para la planta (Figura 1). El suelo de la parcela (control) retiene el agua a mayor tensión y por los valores en los que se mueve, el comportamiento es de un suelo de textura fina. Para el tratamiento control, el punto de marchitez permanente ofrece un contenido volumétrico de agua (CVA) de  $0,42 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , sin embargo, este valor desciende hasta  $0,38 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  y  $0,25 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  al mezclar 5 cm y 20 cm de ceniza, respectivamente. En el lado opuesto de la curva, el contenido de agua en saturación es muy similar en todos los tratamientos. No obstante, se observa que al añadir ceniza al suelo el drenaje mejora y el agua gravitacional se pierde más rápido (indicado por la pendiente de las curvas a bajas succiones) lo cual mejora la aireación de los mismos. Esto quiere decir que la mezcla de ceniza mejora la capacidad de infiltración del agua en el suelo y, a su vez, aumenta la disponibilidad de aire en el mismo.

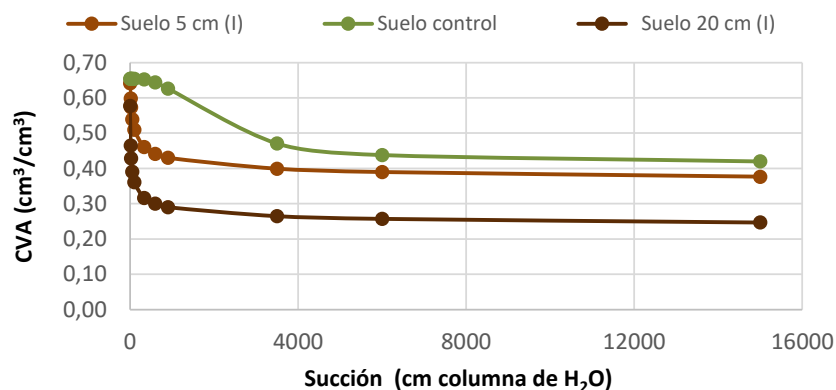


Figura 1. Curva de succión característica (promedio), ajustando el modelo de van Genuchten.

Para el tratamiento control, el punto de capacidad de campo, es decir el punto donde se han vaciado los macroporos por gravedad, es de  $0,479 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ . Al mezclar 5 cm de ceniza este valor aumenta hasta  $0,518 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , mientras que con 20 cm de ceniza el valor se sitúa en  $0,414 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ . La disminución de agua retenida a capacidad de campo al añadir 20 cm de ceniza se puede explicar porque al añadir la ceniza en esa cantidad, combinado con el laboreo, aumenta la proporción de macroporos y, por lo tanto, el suelo retiene menos agua al vaciarse este tipo de poros. Era esperable un comportamiento similar al mezclar 5 cm de ceniza, pero en menor proporción; sin embargo, el resultado es de un CVA superior que el control, lo que puede deberse al reducido número de muestras recogidas y la variabilidad de los suelos.

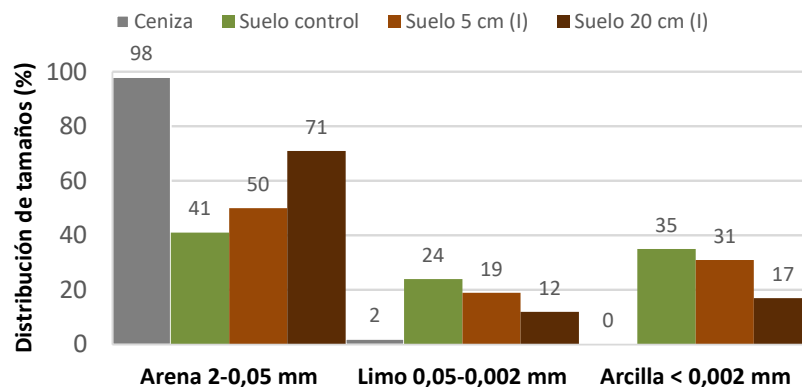
Hay que destacar que la incorporación de la ceniza se hizo por medio de la motoazada, mientras que el tratamiento control no se trabajó, con lo cual el comportamiento de los suelos con ceniza mezclada se



debe a dos factores, por un lado, la adición de la propia ceniza y por otro el trabajo con la maquinaria que soltó el suelo.

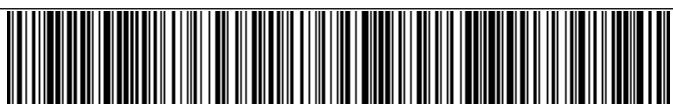
El agua útil en el control fue de  $0,060 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , en el tratamiento de 5 cm de ceniza  $0,142 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  y el de 20 cm de  $0,167 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ . El efecto de añadir ceniza aumenta la cantidad de agua disponible para la planta, este efecto se debe al hecho de que el suelo control tiene un contenido alto en arcillas, y retiene mucha agua, pero con mucha fuerza por lo que no está tan disponible para las plantas.

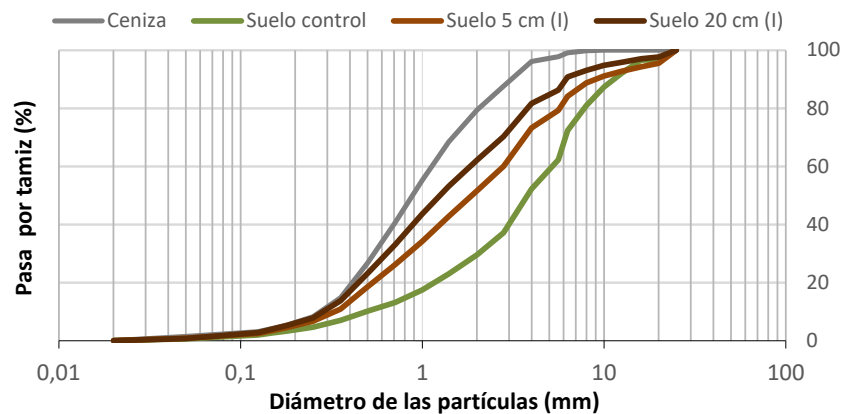
En relación a la textura de la ceniza y los suelos, tanto control como aquellos a los que se incorporó la ceniza en distintas cantidades (Figura 2), se puede señalar que la ceniza se clasificó como una arena y el suelo de la parcela, sin ceniza incorporada, como franco arcilloso. A medida que aumentó la cantidad de ceniza mezclada con el suelo la textura del mismo cambió aumentando la proporción en arena y disminuyendo la de limo y arcilla, de tal manera que el suelo al que se añadieron 5 cm de ceniza se clasificó como de textura franco arcilla arenosa y al que se añadieron 20 cm de ceniza como de textura franco arenosa. Los suelos óptimos para el cultivo del plátano, con mayor conservación de la humedad, son los aluviales con texturas moderadamente pesadas, y con contenidos en arcilla superiores al 20% con buen espacio de poro. También se ha descrito que los mejores suelos son los francos o ligeramente franco-arcillosos, bien drenados, profundos y fértiles (Acosta *et al.*, 2007).



**Figura 2.** Distribución de tamaños de partículas con tamaño inferior a 2 mm (arena, limo y arcilla) de la ceniza y de los suelos sin ceniza y con 5 y 20 cm de ceniza incorporada (I) al suelo.

La distribución granulométrica de la ceniza y los suelos, sin separar antes de su análisis la fracción gruesa (20 a 2 mm), indica que el contenido en grava en el suelo sin ceniza incorporada (control) es muy superior al de la ceniza, en la que no hay partículas de tamaño superior a 10 mm. A medida que se va incorporando mayor cantidad de ceniza al suelo, va aumentando el porcentaje de partículas de menor tamaño dado que la ceniza contiene un porcentaje de grava inferior al suelo (Figura 3).





**Figura 3.** Curva de distribución granulométrica de la ceniza y de los suelos sin ceniza y con 5 y 20 cm de ceniza incorporada (I) al suelo.

## 2. Efecto de la aplicación de ceniza volcánica sobre los indicadores químicos de salud del suelo

En la Tabla 1 se resumen las propiedades químicas del suelo en la parcela de ensayo (control) y las de los suelos a los que se incorporó dos cantidades diferentes de ceniza, evaluadas a los 36 días después del montaje del ensayo. A efectos comparativos se han incluido también en dicha tabla las propiedades químicas de la ceniza utilizada en el ensayo.

**Tabla1.** Propiedades químicas de la ceniza y de los suelos sin ceniza y con 5 y 20 cm de ceniza incorporada (I) al suelo.

|                                  | Ceniza        | Suelo control | Suelo + ceniza |               |
|----------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
|                                  |               |               | 5 cm (I)       | 20 cm (I)     |
| Materia orgánica oxidable (%)    | 0,517 ± 0,048 | 7,61 ± 0,40 a | 4,19 ± 0,10 b  | 2,39 ± 0,02 c |
| Fósforo asimilable (mg/kg)       | 8,50 ± 0,28   | 517 ± 19 a    | 210 ± 2 b      | 101 ± 2 c     |
| Calcio intercambiable (mEq/kg)   | 5,63          | 292 a         | 139 b          | 69 c          |
| Magnesio intercambiable (mEq/kg) | 0,38          | 52 a          | 25,9 b         | 11,6 c        |
| Sodio intercambiable (mEq/kg)    | 2,5           | 7,2 b         | 15,7 a         | 5,9 c         |
| Potasio intercambiable (mEq/kg)  | 0,49          | 51 b          | 56 a           | 18,3 c        |
| Relación Ca:Mg:K                 | 11:0,8:1      | 5,7:1:1       | 2,5:0,5:1      | 3,8:0,6:1     |
| pH agua 1:5 (v:v)                | 6,95 ± 0,04   | 7,34 ± 0,04 a | 7,19 ± 0,01 b  | 6,66 ± 0,09 c |
| pH KCl 1:5 (v:v)                 | 6,47 ± 0,07   | 6,67 ± 0,01 a | 6,15 ± 0,04 b  | 5,44 ± 0,01 c |
| CE (μS/cm)                       | 99 ± 1        | 368 ± 12 a    | 307 ± 1 b      | 150 ± 1 c     |

Las letras iguales dentro de cada parámetro químico indican que no se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ , ANOVA con LSD) entre el suelo control y los tratamientos de incorporación de cenizas al suelo.

Se observa que se produce un efecto dilución del contenido en materia orgánica, fósforo, calcio y magnesio, debido al bajo contenido de estos componentes que aporta la ceniza que se mezcló con el suelo. Además, esta dilución es mayor a medida que aumenta la cantidad de ceniza mezclada. En general, el fósforo en los suelos de platanera debería superar los 60 mg/kg. Además, estos suelos deben ser ricos en nitrógeno y potasio. El contenido en potasio debería estar entre 4 y 20 mEq/kg, aunque es más importante

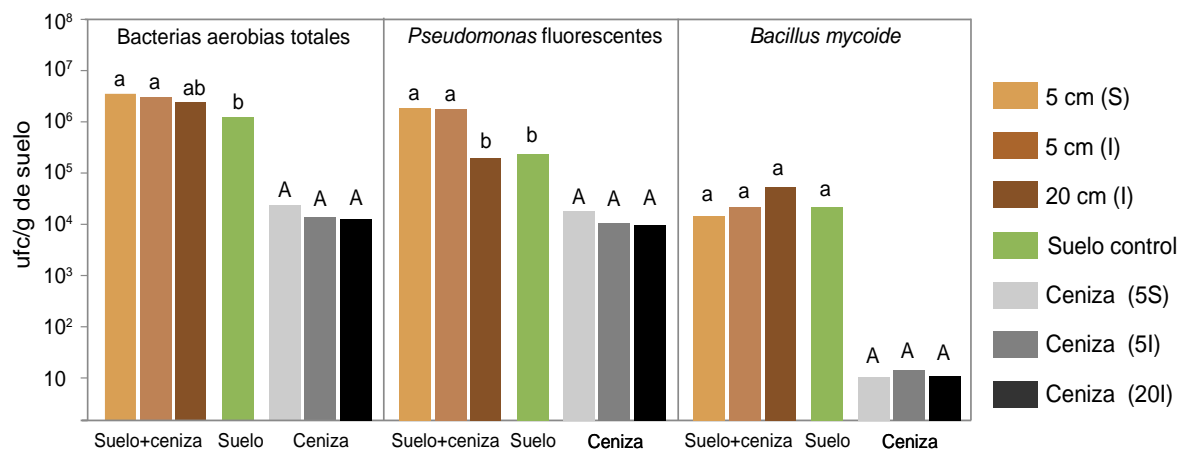


el equilibrio con los demás cationes (Acosta *et al.*, 2007); una relación de Ca:Mg:K asimilables ideal sería 4:2:1 (Nogueroles *et al.*, 2012).

De igual manera, el pH y la conductividad eléctrica del suelo disminuyeron a medida que aumentó la ceniza incorporada al mismo. La platanera prefiere suelos ligeramente ácidos a neutros, con pH alrededor de 6,5 y con una concentración de sales en el suelo baja, menor de 2.000  $\mu\text{s/cm}$  (Nogueroles *et al.*, 2012).

### 3. Efecto de la aplicación de ceniza volcánica sobre los indicadores biológicos de salud del suelo

Se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ , ANOVA con Tukey) en el recuento de las bacterias aerobias totales (ufc/g de suelo) entre tratamientos (Figura 4).

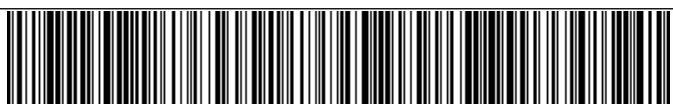


**Figura 4.** Cuantificación de las bacterias aerobias totales, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus mycoide* en los diferentes tratamientos de adición de ceniza al suelo y en la ceniza superficial.

Las letras iguales dentro de cada grupo bacteriano, indican que no se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos al suelo (minúsculas) y entre muestras de cenizas (mayúsculas). Las muestras de ceniza provienen de la superficie de la parcela de cada tratamiento: 5 cm superficial (5S), 5 cm incorporada (5I), 20 cm incorporada (20I).

La adición de 5 cm de ceniza (superficiales e incorporadas) incrementó significativamente la población de bacterias con respecto al suelo control (suelo sin tratar). Mientras que las muestras correspondientes al tratamiento con 20 cm de ceniza incorporada, no presentaron diferencias significativas con respecto al resto de los tratamientos. Un resultado similar se observó en el recuento de las *Pseudomonas fluorescens*, sin embargo, en este caso el incremento significativo de las ufc/g se observó solamente en los tratamientos con 5 cm de ceniza.

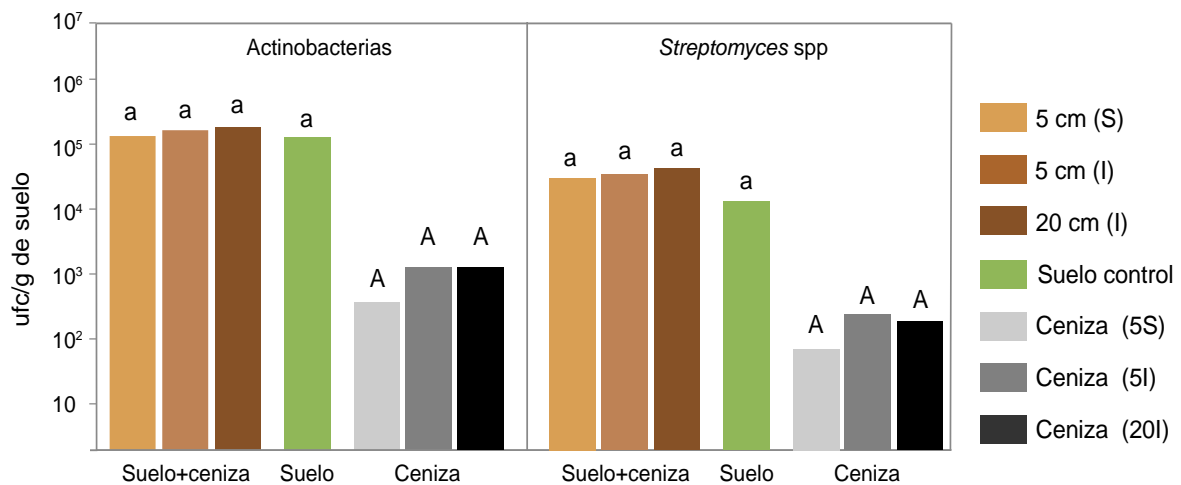
Con respecto a la población de *Bacillus mycoide* no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. No obstante, la tendencia observada fue contraria a la anterior, es decir que el recuento de esta especie bacteriana fue mayor al adicionar 20 cm de ceniza. Por lo tanto, en términos generales se puede observar un incremento de la población de bacterias aerobias totales como consecuencia, principalmente, del aumento de *Pseudomonas fluorescens* al adicionar la dosis más baja de ceniza (5 cm). Sin embargo, al adicionar 20 cm de ceniza este efecto no se observa y, por el contrario, la población de *B. mycoide* es mayor (no significativo) mientras que las *Pseudomonas* presentan valores similares al suelo sin tratar. Este efecto podría explicarse si tenemos en cuenta que el suelo del ensayo es un suelo muy húmedo y poco aireado (los análisis físicos demuestran la textura franco arcilloso del mismo). Por lo tanto, la adición de 5





cm de ceniza mejora las condiciones para el desarrollo de las *Pseudomonas* (principalmente aerobias facultativas) que, sorpresivamente, se adaptan a este sustrato. Esto se demuestra en los recuentos de las muestras de ceniza superficial (Figura 4). Por su lado, *B. mycoide* (una bacteria estrictamente aerobia, asociada a suelos bien aireados y con un buen contenido de materia orgánica) incrementa su población al adicionar 20 cm de ceniza. Es decir que la "modificación" de la textura del suelo, originalmente franco arcilloso a franco arenoso (ver análisis físicos), aparentemente, favorece en términos relativos el desarrollo de la población de un microorganismo aerobio (*B. mycoide*).

En relación a la diversidad y los recuentos observados en las actinobacterias, los mismos se consideran bajos (Figura 5). Asimismo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos y no ha sido posible destacar algo relevante entre tratamientos. Posiblemente, el exceso de humedad del suelo sea el motivo de una población de actinobacterias baja y poco diversa.



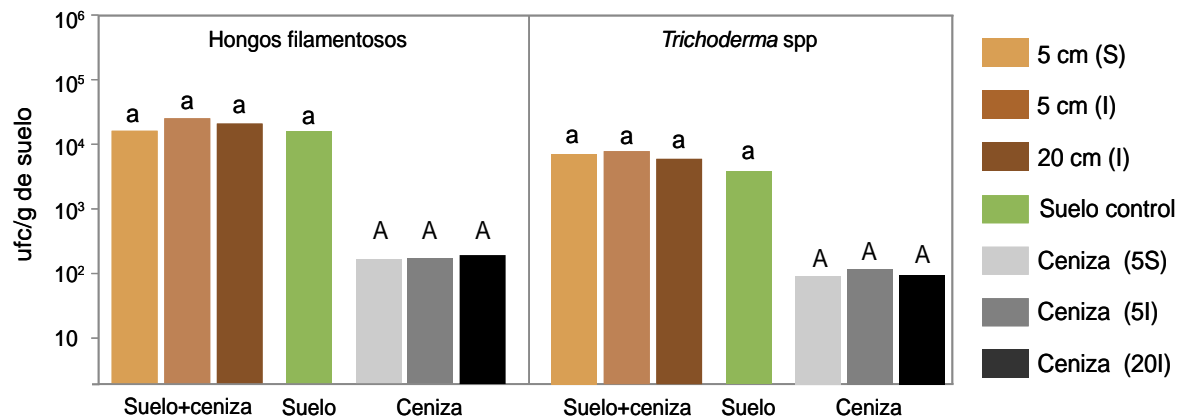
**Figura 5.** Cuantificación de las actinobacterias y de *Streptomyces* en los diferentes tratamientos de adición de ceniza al suelo y en la ceniza superficial.

Las letras iguales dentro de cada grupo bacteriano, indican que no se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos al suelo (minúsculas) y entre muestras de cenizas (mayúsculas). Las muestras de ceniza provienen de la superficie de la parcela de cada tratamiento: 5 cm superficial (5S), 5 cm incorporada (5I), 20 cm incorporada (20I).

Con respecto a los hongos filamentosos (Figura 6), la cuantificación y la diversidad observada se considera por debajo de los niveles esperados para un suelo con un contenido de materia orgánica del 7,6 % (ver análisis químico, suelo control). No obstante, un dato relevante a mencionar es el incremento de la diversidad de *Trichoderma* detectada en los tratamientos con adición de ceniza. En este sentido, en la mayoría de las repeticiones del tratamiento control, se observó una única especie de *Trichoderma* (identificada como *T. harzianum*). Mientras que en los tratamientos con ceniza todas las muestras presentaban dos o tres especies diferentes. Con respecto a otros géneros fúngicos, la diversidad fue baja en todos los tratamientos: predominando las especies de *Aspergillus* y *Penicillium*.







**Figura 6.** Cuantificación de los hongos filamentosos y de *Trichoderma* en los diferentes tratamientos de adición de ceniza al suelo y en la ceniza superficial.

Las letras iguales dentro de cada grupo fúngico, indican que no se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos al suelo (minúsculas) y entre muestras de cenizas (mayúsculas). Las muestras de ceniza provienen de la superficie de la parcela de cada tratamiento: 5 cm superficial (5S), 5 cm incorporada (5I), 20 cm incorporada (20I).

## Conclusiones

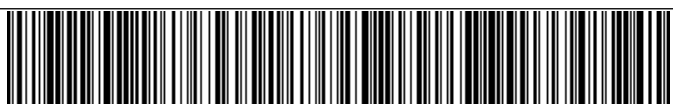
La adición de ceniza de textura arenosa combinada con el laboreo, en un suelo de textura franco arcillosa, mejoró la capacidad de retención de agua (agua útil) y la aireación (proporción de macroporos). No obstante, habrá que comprobar el efecto de la adición de cenizas en otro tipo de suelos de textura más gruesa con distintos tipos de ceniza, para valorar los efectos en distintas condiciones.

Desde el punto de vista químico, un mes después de la incorporación de la ceniza al suelo se observa que esta provocó un efecto dilución de algunos componentes del mismo como la materia orgánica, el fósforo, calcio y magnesio, así como una disminución del pH y la conductividad eléctrica del suelo.

En términos generales, la microbiota del suelo se vio beneficiada con la adición de ceniza al suelo. Las bacterias del grupo *Pseudomonas* fluorescentes y la especie *B. mycoide*, así como los hongos filamentosos del género *Trichoderma* manifestaron cambios en su población y diversidad. Apparentemente la adición de ceniza mejoró las condiciones microbiológicas del suelo a través, principalmente, de los cambios físicos ocasionados (mejora de la textura y la aireación). Si bien la ceniza *per se* no aporta microorganismos, es importante recalcar la capacidad de las *Pseudomonas* para desarrollarse en este sustrato. La respuesta de los microorganismos a los cambios físicos y químicos del suelo es muy rápida y en este caso se demuestra la importancia de los marcadores biológicos. No obstante, para realizar una evaluación de la microbiota más completa es necesario realizar más pruebas microbiológicas y moleculares con diferentes tipos de suelos y de cenizas, sobre todo teniendo en cuenta las condiciones de los suelos realmente afectados durante la erupción del volcán.

## Agradecimientos

Los autores de este informe técnico desean agradecer a AGUSA y COPLACA las facilidades prestadas para el muestreo en el ensayo diseñado y montado en su finca experimental. Asimismo, desean agradecer la financiación recibida para la realización de estos estudios por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España (subvención concedida mediante



Orden del Ministerio de Ciencia e Innovación por la que se Concede la Subvención Prevista en el Real Decreto 1078/2021, de 7 de diciembre, al Instituto Canario de Investigaciones Agrarias) y por la Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca del Gobierno de Canarias.

### Bibliografía

- Acosta, I., López-Cepero, J., Nogueroles, C., 2007. Manejo ecológico de platanera. En: El cultivo ecológico de la platanera en Canarias, Nogueroles, C., Líbano, J. (eds.), Gabinete de Proyectos Agroecológicos.
- Bower, C.A., Reitemeir, R.F., Fireman, M., 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci* 73, 251–261. <https://doi.org/10.1097/00010694-195204000-00001>
- Dexter, A.R., 2004. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120, 201–214. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>
- Klute, A., 1986. Water retention: laboratory methods. *Methods of Soil Analysis*, 2nd Agrono. ed. ASA, SSSA, Madison.
- Liang, X., Liakos, V., Wendroth, O., Vellidis, G., 2016. Scheduling irrigation using an approach based on the van Genuchten model. *Agric. Water Manag.* 176, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.030>
- Mbabazi, D., Migliaccio, K.W., Crane, J.H., Fraisse, C., Zotarelli, L., Morgan, K.T., Kiggundu, N., 2017. An irrigation schedule testing model for optimization of the Smartirrigation avocado app. *Agric. Water Manag.* 179. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.09.006>
- Nogueroles, C., Rodríguez, M., López-Cepero, J., Domínguez, E., 2012. Fertilidad en platanera. En: Calidad y sostenibilidad en el cultivo de la platanera en Canarias, Nogueroles, C. (ed.), Asociación de Organizaciones de Productores de Plátanos de Canarias ASPROCAN.
- Norma UNE-EN 130101:1995, 1995. Análisis granulométrico de suelos por tamizado, AENOR, Madrid, España.
- Norma UNE-EN 103102:1995, 1995. Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación. Método del densímetro, AENOR, Madrid, España.
- Norma UNE-ISO 10390:2012, 2012. Calidad del suelo. Determinación del pH, AENOR, Madrid, España.
- Norma UNE-EN 77308:2001, 2001. Calidad del suelo. Determinación de la conductividad eléctrica específica, AENOR, Madrid, España.
- Olsen, S., Cole, C., Watanabe, F., Dean, L., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular Nr 939*, US Gov. Print. Office Washington DC, USA.
- Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A., Yang, X.M., 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma* 152, 252–263. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.009>
- Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., Broderson, W.D., 2002. Field book for describing and sampling soils, v 2.0. *Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, USA.*
- Tolk, J.A., 2003. Soils, permanent wilting points. *Encyclopedia of Water Science*. Dekker Press, New York, USA.
- van Genuchten, M.T., 1980. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 892–898. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>
- Walkley, A., Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>



Este documento ha sido firmado electrónicamente por:

MONICA GONZALEZ GONZALEZ - COLABORADOR CIENTÍFICO

Fecha: 30/03/2023 - 14:58:49

En la dirección [https://sede.gobiernodecanarias.org/sede/verifica\\_doc?codigo\\_nde=](https://sede.gobiernodecanarias.org/sede/verifica_doc?codigo_nde=) puede ser comprobada la autenticidad de esta copia, mediante el número de documento electrónico siguiente:

080YtP61IeO1aIDJoUEOfmztWdsHU



El presente documento ha sido descargado el 30/03/2023 - 14:58:53