



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Uso de un mejorador de suelo para la modificación
edafológica de las propiedades físico-químicas

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Bioambiental y del Paisaje

AUTOR/A: Hernández Muñoz, Paula

Tutor/a: Ibañez Asensio, Sara

Cotutor/a: Moreno Ramón, Héctor

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA

**Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agronòmica i del
Medi Natural**

**Màster Universitari en Enginyeria Bioambiental i del
Paisatge**



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica
i del Medi Natural

USO DE UN MEJORADOR DE SUELO PARA LA MODIFICACIÓN EDAFOLÓGICA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS

Trabajo Fin de Máster

Curso académico 2022-2023

Autor: Paula Hernández Muñoz

Tutor: Sara Ibáñez Asensio

Cotutor: Héctor Moreno Ramón

València, septiembre de 2023



Uso de un mejorador de suelo para la modificación edafológica de las propiedades físico – químicas

Resumen:

El Promesol 5x es un acondicionador de suelos encargado de mejorar las propiedades físicas del suelo, mejorando las condiciones del sustrato.

Para el ensayo se ha hecho uso de macetas con pimientos, donde se ha aplicado el acondicionador, siguiendo las cantidades y aplicaciones recomendadas, con el fin de comprobar la eficiencia del producto y las ventajas que puede aportar tanto al suelo como a la planta. Esto se debe a que, hoy en día, este tipo de productos está en auge debido a la entrada en vigor del Real Decreto 1051/2022 sobre la nutrición sostenible de los suelos, por el exceso de productos fitosanitarios, originando la pérdida y degradación de los suelos, siendo conveniente conocer alternativas para su recuperación.

Con el fin de conocer la efectividad del producto, se va a comprobar mediante análisis como se van modificando las propiedades edáficas del suelo a lo largo del tiempo. El ensayo realizado, con 70 días de duración, se llevó a cabo en un invernadero, con 60 macetas de pimiento, donde la mitad van a llevar únicamente agua de riego, y las otras Promesol diluido en agua. Además, para comprobar la efectividad del producto en suelos de diferentes texturas, de cada tratamiento la mitad se han rellenado de suelo franco y las restantes de suelo franco – arenoso.

El manejo de las plantas es el mismo para todas, con uno o dos riegos semanales (100 – 250 ml), y mediciones fenológicas, dos veces al comienzo del experimento y una vez a la semana, al final de este. Las dosis y aplicación del producto, se rige por lo recomendado por el fabricante, realizándose una vez al mes.

Para analizar las diferencias en las propiedades del suelo, cada 15 días se realiza un corte de 12 plantas, donde cada variable cuenta con 3 plantas, siendo estas, suelo franco con solo agua, franco con Promesol, suelo franco – arenoso con agua y suelo franco – arenoso con producto, siendo un total de 5 cortes. Tras ello, para estudiar los parámetros fenológicos y morfológicos, se pesa en fresco y seco cada parte de la planta (raíz, tallo y hojas); con el suelo, una vez seco y tamizado a 2 mm de luz de malla, se procede a analizar los parámetros edáficos. Para la obtención de resultados se realizó un ANOVA, con análisis simple y multifactorial. A pesar del corto tiempo del experimento, tras el estudio de los parámetros, se observaron modificaciones en las propiedades del suelo, beneficiando al suelo de textura franca, apreciándose mejoras en sus características. En los parámetros del cultivo, el suelo con mayor presencia de arenas ha obtenido un mayor desarrollo; en los fenológicos el tratamiento con producto han resultado favorecidos, en cambio, los morfológicos han obtenido mejor resultados en los que se han regado únicamente con agua, excepto en el peso del fruto, con ello, se comprueba que con el uso del producto mejora la producción del cultivo.

Palabras clave: Acondicionador de suelo, Promesol 5x, propiedades físico – químicas, pimiento.

Use of a soil improver for the edaphological modification of physical-chemical properties

Summary:

Promesol 5x is a soil conditioner that improves the physical properties of the soil, improving the conditions of the substrate.

For the test, pots with peppers were used, where the conditioner was applied, following the recommended quantities and applications, to check the efficiency of the product and the advantages it can bring to both the soil and the plant. This is due to the fact that nowadays, this type of product is booming due to the coming into force of Royal Decree 1051/2022 on sustainable nutrition of soils, due to the excess of phytosanitary products, causing the loss and degradation of soils, being convenient to know alternatives for their recovery.

To find out the effectiveness of the product, analyses were carried out to check how the soil's edaphic properties changed over time. The trial, which lasted 70 days, was carried out in a greenhouse with 60 pepper pots, half of which were only irrigated with irrigation water and the others with Promesol diluted in water. In addition, in order to test the effectiveness of the product in soils of different textures, half of each treatment was filled with loam soil and the rest with sandy loam soil.

The management of the plants is the same for all of them, with one or two weekly irrigations (100-250 ml), and phenological measurements twice at the beginning of the experiment and once a week at the end of the experiment. The dosage and application of the product is governed by the manufacturer's recommendations and is carried out once a month.

To analyse the differences in soil properties, every 15 days a cutting of 12 plants is made, where each variable has 3 plants, these being loam soil with only water, loam with Promesol, sandy loam soil with water and sandy loam soil with product, making a total of 5 cuts. After this, to study the phenological and morphological parameters, each part of the plant (root, stem, and leaves) was weighed fresh and dry; with the soil, once dry and sieved at 2 mm mesh size, the soil parameters were analysed. To obtain the results, an ANOVA was carried out, with simple and multifactorial analysis. Despite the short time of the experiment, after the study of the parameters, changes were observed in the soil properties, benefiting the loam-textured soil, with improvements in its characteristics. In the crop parameters, the soil with a greater presence of sand has obtained a greater development; in the phenological parameters, the treatment with the product has favored, while the morphological parameters have obtained better results in those that have been irrigated only with water, except in the weight of the fruit, thus proving that the use of the product improves the production of the crop.

Keywords: Soil conditioner, Promesol 5x, physical and chemical properties, pepper.

Ús d'un millorador de sòl per a la modificació edafològica de les propietats físic - químiques

Resum:

Promesol 5x és un condicionador de sòls encarregat de millorar les propietats físiques del sòl, millorant les condicions del substrat.

Per a l'assaig s'ha fet ús de tests amb pimentons, on s'ha aplicat el condicionador, seguint les quantitats i aplicacions recomanades, amb la finalitat de comprovar l'eficiència del producte i els avantatges que pot aportar tant al sòl com a la planta. Això es deu al fet que hui dia, aquest tipus de productes està en auge degut a l'entrada en vigor del Reial decret 1051/2022 sobre la nutrició sostenible dels sòls, per l'excés de productes fitosanitaris, originant la perduda i degradació dels sòls, sent convenient conèixer alternatives per a la seua recuperació.

Amb la finalitat de conèixer l'efectivitat del producte, es comprovarà mitjançant anàlisi com es van modificant les propietats edàfiques del sòl al llarg del temps. L'assaig realitzat, amb 70 dies de duració, es va dur a terme en un hivernacle, amb 60 tests de pimentó, on la meitat portaran únicament aigua de reg, i les altres Promesol diluït en aigua. A més, per a comprovar l'efectivitat del producte en sòls de diferents textures, de cada tractament la meitat s'han emplenat de sòl franc i les restants de sòl franc – arenós.

El maneig de les plantes és el mateix per a totes, amb un o dos regs setmanals (100 – 250 ml), i mesuraments fenològics, dues vegades al començament de l'experiment i una vegada a la setmana, al final d'aquest. Les dosis i aplicació del producte, es regeix pel recomanat pel fabricant, realitzant-se una vegada al mes.

Per a analitzar les diferències en les propietats del sòl, cada 15 dies es realitza un tall de 12 plantes, on cada variable compta amb 3 plantes, sent aquestes, sòl franc amb només aigua, franc amb Promesol, sòl franc – arenós amb aigua i sòl franc – arenós amb producte, sent un total de 5 corts. Després d'això, per a estudiar els paràmetres fenològics i morfològics, es pesa en fresc i sec cada part de la planta (arrel, tija i fulles); amb el sòl, una vegada sec i tamisat a 2 mm de llum de malla, es procedeix a analitzar els paràmetres edàfics. Per a l'obtenció de resultats es va realitzar un ANOVA, amb anàlisi simple i multifactorial. Malgrat el curt temps de l'experiment, després de l'estudi dels paràmetres, es van observar modificacions en les propietats del sòl, beneficiant al sòl de textura franca, apreciand-se millores en les seues característiques. En els paràmetres del cultiu, el sòl amb major presència d'arenas ha obtingut un major desenvolupament; en els fenològics el tractament amb producte han resultat afavorits, tenint en canvi, els morfològics han obtingut millor resultats el que s'han regat únicament amb aigua, excepte en el pes del fruit, amb això, es comprova que amb l'ús del producte millora la producció del cultiu.

Paraules clau: Condicionador de sòl, Promesol 5x, propietats físic – químiques, pimentó.





A mis padres, por ser mi fiel apoyo.



EQPVGPFG

ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- EL SUELO. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	1
1.2.- IMPORTANCIA DE LOS SUELOS EN LA ACTUALIDAD	2
1.3.- BIOESTIMULANTES, MEJORADORES DE SUELO Y ACONDICIONADORES DE SUELO	3
1.4.- LOS SUELOS Y LOS ODS.....	4
2.- OBJETIVOS	6
3.- MATERIALES Y MÉTODOS	7
3.1.- DISEÑO EXPERIMENTAL	7
3.1.1.- Promesol 5x.....	8
3.1.2.- Características iniciales del suelo.....	8
3.2.- PARÁMETROS EDÁFICOS (QUÍMICOS y FÍSICOS)	9
3.2.1.- CE 1/5	9
3.2.2.- pH 1/2.5	9
3.2.3.- Nitrógeno.....	10
3.2.4.- Ureasa.....	11
3.2.5.- Materia Orgánica (M.O).....	11
3.2.6.- Capacidad de Campo (C.C).....	12
3.2.7.- Estabilidad de agregados (EA)	12
3.2.8.- Capacidad de Intercambio catiónico	13
3.3.- PARÁMETROS DEL CULTIVO	14
3.3.1.- Fenología y morfología de las plantas.....	14
3.4.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	15
4.- RESULTADO Y DISCUSIÓN	16
4.1.- PARÁMETROS EDÁFICOS	16
4.1.1.- CE (dS/m).....	16
4.1.2.- pH.....	17
4.1.3.- Materia Orgánica (M.O).....	19
4.1.4.- Nitrógeno.....	20
4.1.5.- Ureasa.....	21
4.1.6.- Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)	22

4.1.7-. Capacidad de Campo (C.C).....	24
4.17-. Estabilidad de Agregados	25
4.2-. FENOLOGÍA Y MORFOLOGÍA DE LAS PLANTAS	27
3.- CONCLUSIONES	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Diferenciación de las macetas respecto al tratamiento aplicado</i>	7
<i>Figura 2 Conductímetro de la marca Crison microCM 2202</i>	9
<i>Figura 3 pHmetro de la marca Crison micropH 2002</i>	10
<i>Figura 4 En Fase de digestión se encuentra la campana de extracción junto con el digestor; En la fase de destilación, el destilador usado también en la ureasa y en la Capacidad de Intercambio Catiónico</i>	11
<i>Figura 5 Olla de Richard de baja presión para 0.33 atm.</i>	12
<i>Figura 6 Tamiz usado para realizar el método de tamizado húmedo</i>	13
<i>Figura 7 Gráfica de valores obtenidos de CE en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19</i>	16
<i>Figura 8 Disponibilidad de nutrientes en el suelo en relación con el pH (Toledo et al., 2017)</i>	17
<i>Figura 9 Gráfica de valores obtenidos de pH en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento</i>	18
<i>Figura 10 Gráfica de valores obtenidos de Materia Orgánica en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento</i>	20
<i>Figura 11 Gráfica de valores obtenidos de nitrógeno en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19</i>	21
<i>Figura 12 Gráfica de valores obtenidos de ureasa en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19</i>	22
<i>Figura 13 Gráfica de valores obtenidos de CIC en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento</i>	23
<i>Figura 14 Gráfico de interacciones respecto al CIC. Fuente: Statgraphics 19</i>	24
<i>Figura 15 Gráfica de valores obtenidos de capacidad de campo en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19</i>	25
<i>Figura 16 Gráfica de valores obtenidos de la comparativa entre los suelos de la capacidad de campo. Fuente: Statgraphics 19</i>	25
<i>Figura 17 Gráfica de valores obtenidos de estabilidad de agregados en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento</i>	26
<i>Figura 18 Gráfico de interacciones respecto a la estabilidad de agregados. Fuente: Statgraphics 19</i>	27
<i>Figura 19. Gráfica comparativa del número de hojas en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19</i>	28
<i>Figura 20 Gráfico de interacciones respecto al número de hojas. Fuente: Statgraphics 19</i>	28
<i>Figura 21 Gráfica de valores obtenidos de peso de las hojas en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento</i>	29
<i>Figura 22 Gráfico de interacciones respecto al peso fresco de las hojas. Fuente: Statgraphics 19</i>	30
<i>Figura 23. Gráfica comparativa del número de flores abiertas en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19</i>	31
<i>Figura 24 Gráfica de valores obtenidos de número de flores muertas en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19</i>	31
<i>Figura 25 Gráfico de interacciones respecto al número de frutos. Fuente: Statgraphics 19. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento</i>	32
<i>Figura 26 Gráfica comparativa del tamaño de la raíz en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento</i>	33

Figura 27 Gráfico de interacciones respecto a la longitud de la raíz. Fuente: Statgraphics 19 33

Figura 28 Gráfica de valores obtenidos de humedad en la raíz en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento _____ 34

Figura 29 Gráfico de interacciones respecto a la humedad de la raíz. Fuente: Statgraphics 19 _____ 35

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Mediciones de conductividad eléctrica y clases de salinidad. Fuente: USDA</i>	16
<i>Tabla 2 Clasificación del pH. Fuente: USDA</i>	17
<i>Tabla 3 Clasificación del Materia orgánica. Fuente: MAPAMA</i>	19
<i>Tabla 4 Contenido de nitrógeno en los suelos. Fuente: AGRUCO</i>	20
<i>Tabla 5 Clasificación de CIC. Fuente: MAPAMA</i>	23
<i>Tabla 6 Valores de estabilidad estructural del suelo (Kemper & Koch, 1966)</i>	26



1.- INTRODUCCIÓN

1.1- EL SUELO. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

El suelo es la capa de materiales orgánicos y minerales que cubre la corteza terrestre y en la cual las plantas desarrollan sus raíces y toman los alimentos que les son necesarios para su nutrición.

La formación de los suelos responde a la actuación de diferentes procesos químicos, físico y biológicos, dependen de factores ambientales como son el clima y la vegetación, hacen de los suelos complejos organismos sujetos a una mudanza continua que nunca alcanzan una condición estática, estando en constante evolución. (Suárez de Castro, 1979)

Un suelo es una mezcla de materiales, tanto sólidos como líquidos y gaseosos. La proporción de estos componentes son lo que conforman las propiedades físicas del suelo, esenciales para determinar la calidad del suelo, y su capacidad de soportar la vida vegetal y su desarrollo. Las propiedades físicas más importantes, según la FAO, son las siguientes:

- Estructura. Las partículas que conforman la textura de un suelo se unen para formar agregados de un tamaño superior. Esto influye en la aireación del suelo, determinando el crecimiento radicular y la disponibilidad de agua.
- Profundidad. Distancia existente entre la superficie hasta la roca madre. Informa sobre el espacio del que disponen las raíces de las plantas
- Color. Depende de los componentes que conforman el suelo, y varía con el contenido de humedad, materia orgánica y oxidación de los minerales. Es una propiedad que intrínsecamente no aporta nada sobre el comportamiento del suelo, sin embargo, permite inferir en otras propiedades debido a que guarda relación con la temperatura, humedad, clima...
- Textura. Proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños, menores de 2 mm, como son la arena, limo y arcilla. Se podría clasificar como la propiedad más importante del suelo, es permanente y difícil de modificar
- Porosidad. Es la cantidad de espacios vacíos que hay en el suelo. Esta se relaciona con la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener y que se encontrará disponible para las plantas, debido a que un micro poro puede retener agua, al contrario que un macro poro que no retienen agua, pero son responsables de la aireación del suelo.
- Densidad. Relacionada con la porosidad, influye también en la aireación y retención de agua. Se refiere a la cantidad de masa por volumen del suelo.
- Disponibilidad del agua en el suelo. Cuánta agua es capaz de retener un suelo en relación con su capacidad total. En esta propiedad se encuentra lo que se conoce como Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente.

Seguido, se encuentran las propiedades químicas. Estas, son las que quizás determinan más directamente la fertilidad de los suelos, y la disponibilidad de los nutrientes para el crecimiento de las plantas.

- Capacidad de Intercambio Catiónico. Capacidad que tiene el suelo para retener y liberar los diferentes cationes esenciales para las plantas
- pH del suelo. Determina el grado de adsorción de iones por las partículas de suelo. Es el principal indicador sobre la disponibilidad de los nutrientes, influyendo en la movilidad y solubilidad. Es una de las principales propiedad químicas, pues afecta a numerosos procesos del suelo
- Porcentaje de saturación de bases. Propiedad usada para evaluar la fertilidad de un suelo. Se encarga de evaluar la proporción de suelo que está ocupada por cationes básicos
- Nutrientes para las plantas. Cantidad de nutrientes presentes en los suelos. Dependiendo de su requerimiento en las plantas se clasifican como macronutrientes, aquellos que se necesitan en mayor medida, y micronutrientes, los que en baja
- Carbono Orgánico del Suelo. Cantidad de carbono contenido en un compuesto orgánico, como son los residuos vegetales o materia orgánica que se encuentra en el suelo. Es esencial para el suelo, pues mejora las propiedades físicas del suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico y contribuye a la estabilidad de los suelos.
- Nitrógeno del suelo. Elemento de gran importancia para las plantas, se encuentra distribuido por toda la naturaleza, pero su forma no permite una fácil asimilación
- Salinización del suelo. Acumulación de sales solubles en la solución del suelo. Una cantidad excesiva de sales afecta negativamente a la salud del suelo, y como consecuencia a las plantas. Se suele medir en lo que se conoce como Conductividad Eléctrica

1.2.- IMPORTANCIA DE LOS SUELOS EN LA ACTUALIDAD

Para parte de la población, el suelo es un mero soporte para llevar a cabo sus actividades diarias, sin saber cómo de importante es para su supervivencia.

Los suelos cumplen con importantes funciones de las cuales derivan servicios ambientales indispensables para el mantenimiento de los ecosistemas como de la vida humana. La función más conocida es la de soporte y suministro de nutrientes a las plantas. De ahí que la degradación esté considerada como el mayor problema ambiental, y una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible. Asimismo, es el medio donde se realizan los ciclos biogeoquímicos necesarios para la descomposición de los compuestos orgánicos, indispensables para la nutrición de los seres vivos. (Cotler et al., 2007)

Otro interés que genera la buena calidad de los suelos es la relación sinérgica entre el suelo y el agua, estableciéndose que el desarrollo y crecimiento de los pueblos está ligado a la fertilidad del suelo y a la disponibilidad de agua, y por ello, no existen pueblos desarrollados en suelos pobres (Burbano Orjuela, 2010).

La importancia sobre los suelos va, de manera paulatina, en aumento, sin embargo, el proceso para que se le dé el reconocimiento que merece es largo. Por ello, para abordar los desafíos ambientales que se originan se han establecido una serie de normativas que buscan la preservación y recuperación de los suelos.

Normativa española relacionada con la conservación y recuperación de los suelos:

Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Ley creada para controlar y reducir el número de suelos contaminados, promoviendo a su vez prácticas sobre la gestión de residuos, protegiendo la calidad de los suelos y contribuyendo de una manera indirecta con la agricultura y biodiversidad

Real Decreto 1051/2022, de 27 de diciembre, por el que se establecen normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios. Pretende la reducción del uso de fertilizantes para conservar y mejorar el recurso del suelo y los productos resultantes de él, así como su disponibilidad en un futuro con el mismo bienestar.

Directiva procedente de la Unión Europea:

Pacto verde europeo

- Estrategia de la “Granja a la Mesa”, el principal objetivo es producir y consumir dentro de una manera más sostenible, por ello, para alcanzar lo propuesto se incluyen una serie de medidas como la reducción de pesticidas en un 50% y fertilizantes químicos en un 20%, promoviendo técnicas agrícolas sostenibles donde se busca reducir la pérdida de los nutrientes y fertilidad de los suelos en un 50%
- Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2030, con el objetivo de frenar la pérdida de biodiversidad y restaurar los ecosistemas dañados, donde se incluye también la preservación de los suelos con alto interés ecológico

Directiva de nitratos (Directiva 91/676/CEE). Regulación directa sobre la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de prácticas agrícolas. Con esta directiva se obliga a hacer un uso más adecuado sobre los fertilizantes químicos para prevenir la contaminación de las aguas, promoviendo prácticas más sostenibles, limitando la presencia de nitratos, mejorando de manera indirecta la preservación de los suelos y su salud.

1.3.- BIOESTIMULANTES, MEJORADORES DE SUELO Y ACONDICIONADORES DE SUELO

Según indica las Naciones Unidas, el mundo seguirá creciendo, no previéndose un punto de inflexión sobre el crecimiento poblacional. Esta dinámica demográfica es la principal fuerza en el cambio ambiental global, pues se necesita de más superficie para ubicar a la población, así como para proporcionar el alimento, explotando con ello más a los recursos (Bulege, 2013).

Con el aumento de la superficie agraria, tanto de riego como en secano, se origina una presión mundial sobre los recursos naturales, obligando a la sociedad a desarrollar sistemas más eficientes y medioambientalmente menos perjudiciales. Para ello, se plantea un reto, que es producir más con menos recursos, lo cual requiere de nuevas tecnologías y nuevas herramientas como los bioestimulantes o mejoradores de suelo. Estas sustancias ayudan a ser más eficientes con los recursos, logrando una agricultura más sostenible.

En la actualidad no se tiene una definición concreta sobre qué son los bioestimulantes, pero de entre las diferentes explicaciones que hay, se ha tomado la de Patrick du Jardín de 2015.

“Un bioestimulante es cualquier sustancia o microorganismo que se aplica a las plantas, independientemente de su contenido de nutrientes, con el objetivo de mejorar la eficiencia nutricional, la tolerancia al estrés abiótico. Por extensión, los bioestimulantes también designan producto que contienen mezclas de dichas sustancia o microorganismos.”

Si bien, este tipo de sustancias están diseñadas para mejorar el desarrollo fenológico de las plantas, parte de este crecimiento se da por la asimilación de nutrientes gracias a las raíces, que a

su vez se encuentra relacionado con las propiedades físicas del propio suelo. Por esa razón, para que se realice una correcta movilización y absorción de los nutrientes del suelo, se debe tener un suelo con una buena estructura y textura, para que sea más eficiente la absorción de los nutrientes.

Un mejorador o acondicionador de suelo es cualquier producto que ayude a corregir limitaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de mala calidad, disminuyendo en gran medida, por tanto, la incidencia de procesos de degradación como la erosión hídrica o las pérdidas de nutrientes por lixiviación o volatilización (Blanco Sandoval, 2006). Entre estos productos se incluyen fertilizantes, compost estabilizado, hummus, restos de poda o subproductos de no origen animal.

En general, la definición de mejorador se puede aplicar a la de un acondicionador de suelo, siendo productos similares pero con una leve diferencia. Un mejorador de suelo es un producto que mejora las propiedades físicas, químicas o biológicas de un suelo, centrándose en mejorar la estructura de este, así como la retención de agua y la disponibilidad de los nutrientes, haciendo más accesible estos para las plantas

En cambio, un acondicionador de suelo es un producto usado para modificar las propiedades físicas del suelo, tanto la estructura como la textura, aumentando la aireación del suelo, y mejorando la capacidad de retención de agua y nutrientes, ayudando el desarrollo de las plantas.

Sin embargo, ambos términos suelen usarse de manera indistinta, siendo que las diferencias entre ambos son insignificantes al cumplir muchos productos todas la funciones.

Hay diferentes tipos de acondicionadores o mejoradores de suelo.

Abonos orgánicos

Productos resultantes de la descomposición de materia orgánica obtenidos a través del compost. Tienen alta carga microbiana. Estos ayudan a mejorar la estructura de los suelos, aumentando la presencia de los nutrientes esenciales. Los abonos orgánicos más usados son los residuos de cosecha, estiércoles, hummus, compost y biofertilizantes

Enmiendas del suelo

Productos naturales que se aplican para corregir la acidez del suelo y neutralizar los efectos tóxicos ocasionados por las altas concentraciones de otros elementos originado por los residuos que dejan los fertilizantes. Los diferentes tipos de enmiendas pueden estar hechas con diferente base, dependiendo de lo que se quiera corregir, como calcio o magnesio

1.4.- LOS SUELOS Y LOS ODS

Las innovaciones tecnológicas incorporadas a la agricultura en el pasado siglo permitieron alejar las previsiones del economista Thomas Malthus en su Ensayo sobre la población (R. Casas, 2001), permaneciendo no obstante la incógnita sobre la producción de alimentos y los finitos recursos que se poseen, entre ellos el suelo, de donde proviene el 95% de los alimentos según indica la FAO (United Nations, 2022).

Por ello es necesario garantizar que los suelos sigan siendo productivos y fértiles, promoviendo su conservación. En este punto es cuando entra en valor el desarrollo sostenible, el cual busca el equilibrio a través de sus 3 pilares: sociedad, economía y medio ambiente. En este último, es donde se encuentra la conservación y adopción de medidas de mitigación para evitar la pérdida de suelos, garantizando su salud y un uso más sostenible.

En 2015, para proteger el planeta y sus recursos, se propusieron una serie de objetivos en el Acuerdo de París (Moran, 2016). Objetivos que deben cumplirse para el año 2030, para garantizar el futuro de las personas y planeta, siendo estos los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). A continuación, se muestran aquellos ODS que se relacionan con los suelos y su preservación.

ODS 2 Hambre cero.

El principal objetivo es el fin del hambre en el mundo, para ello es necesario un aumento de la productividad agrícola, mediante prácticas más sostenibles, consiguiendo así unos suelos fértiles y óptimos que sean capaces de producir el alimento necesario.

ODS 12 Producción y consumo responsable.

Enlazándose con el ODS 2, ambos buscan una forma de producir alimentos y que lleguen a todo el mundo, pero siendo responsables con los recursos, a través de medidas para evitar el agotamiento de los mismos.

ODS 13 Acción por el Clima.

Objetivo enfocado en combatir el cambio climático y las emisiones que se generan. Un suelo sano es un gran sumidero de carbono, evitando las concentraciones de este en la atmósfera. Ante suelos degradados, el propio suelo hace el efecto contrario, liberando el carbono a la atmósfera contribuyendo al aumento de gases.

ODS 14 Vida submarina.

Aunque parezca que no tiene relación directa con el suelo, ambos buscan la protección de los ecosistemas, en este los relacionados con los recursos marinos. Entre ellos, se encuentran los ecosistemas costeros, debido a que la erosión de los suelos puede desencadenar problemáticas en los ecosistemas acuáticos a través de la contaminación y sedimentación.

ODS 15 Vida de ecosistemas Terrestres.

Objetivo que busca la conservación, restablecimiento y uso sostenible de los recursos terrestres. Dando importancia al valor del suelo como sumidero de gases y como sustento de las personas.

Entre las metas del objetivo 15 se encuentra el punto 15.3. Esta meta, lucha en acabar con la desertificación y la degradación de los suelos, donde se engloban las tierras afectadas por sequías e inundaciones, para lograr una degradación neutra del suelo.

2.- OBJETIVOS

El principal objetivo del presente trabajo es conocer mediante análisis como se van modificando las propiedades físico - químicas del suelo a lo largo del tiempo mediante el uso de un acondicionador de suelo (Promesol 5x).

Entre los objetivos secundarios a contemplar se encuentran los siguientes:

- Analizar si se produce un mayor desarrollo radicular, así como un mayor desarrollo de la planta debido a una mejor absorción de nutrientes.
- Comprobar si la textura del suelo es un factor influyente sobre la capacidad de actuación del producto.
- Definir el tiempo de actuación efectivo del producto para observar una mejoría sobre las propiedades

Para la obtención tanto del objetivo principal como de los secundarios, se han estudiado una serie de parámetros edáficos, tanto variables químicas y físicas, donde se encuentra el pH, CE, materia orgánica, nitrógeno, ureasa, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de campo y estabilidad de agregados; seguido de una serie de parámetros morfológicos y fenológicos de la planta siendo las hojas, tallo, número de botones florales, flores abiertas y muertas, número y peso de los frutos, tamaño de la raíz, su peso y la humedad que posee.

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

Para el siguiente apartado se ha decidido dividir el punto en varias partes, encontrándose primeramente el proceso llevado a cabo en el invernadero, donde se desarrolla la parte más técnica del proyecto, siendo la parte denominada *Diseño experimental*.

Los siguientes dos apartados constarán sobre una explicación de los parámetros que se desean estudiar para comprobar si se cumplen los objetivos propuestos. En primer lugar, se hallan las propiedades del suelo, que incluyen parámetros físicos y químicos, seguido de los aspectos del cultivo, donde se encuentra la fenología de la planta y la morfología de los frutos.

Finalizando este apartado, se encuentra un punto donde se explica el uso del programa estadístico Statgraphics 19, debido a su uso para la obtención de los resultados

3.1.- DISEÑO EXPERIMENTAL

Se ha realizado una investigación con una duración de 70 días, en el cual se han estudiado como la aplicación de un acondicionador de suelo, en este caso Promesol 5x, puede mejorar las propiedades en dos suelos y el desarrollo de plantas de pimiento

Para ello se dispusieron plantones de pimiento (*Capsicum annuum*) en macetas de 15 cm de diámetro y 13 cm de alto en invernadero. De las 60 macetas (Figura 1) que consta el experimento, 30 de ellas van a tener aplicado el producto (esté se encontrará diluido en agua) y otras 30 se regaron únicamente con agua.



Figura 1 Diferenciación de las macetas respecto al tratamiento aplicado

Los dos tipos de suelos se obtuvieron mezclando suelo procedente de la huerta de Valencia, con arena, en una mezcla de porcentaje de 70 -30), quedando el experimento repartido de la siguiente forma, de cada tratamiento se poseen 30 macetas, de estas 30 macetas, 15 de ellas son de suelo franco y otras 15 de suelo franco arenoso.

El manejo de las plantas es el mismo para todas, realizándose de uno a dos riegos semanales (100 – 250 ml), y mediciones fenológicas, de dos días a la semana al principio del cultivo, debido al rápido crecimiento, donde se contabilizaba el número de hojas y botones flores, así como longitud del tronco, y pasando luego a una única medición semanal, al no producirse tanto cambio en poco tiempo, teniéndose en cuenta en estas mediciones el número de flores y fruto de las plantas. Las dosis y aplicación del producto se rigen por lo recomendado por el fabricante (10 – 15 l/ha al inicio y 5 – 10 l/ha de mantenimiento una vez al mes); la primera aplicación del producto, siendo la de inicio, se realizó el 24 de marzo del presente año, con una dosis de 0.025 ml/maceta; las dos siguientes de mantenimiento fueron el 26 de abril y el 29 de mayo, con una dosis de mantenimiento de 0.015 ml/maceta.

Para ir evaluando las diferencias en las propiedades del suelo con el paso del tiempo, se va a realizar cada 15 días el corte de 12 plantas, donde cada tratamiento cuenta con 6 macetas, 3 de solo agua y 3 con aplicación de acondicionador, siendo 3 correspondientes a suelo franco y otras 3 a suelo franco – arenoso, realizándose un total de 5 cortes repartidos durante la duración del ensayo. El primer corte realizado fue el 5 de abril, y el último el 31 de mayo.

Para un mejor entendimiento sobre los días que se ha realizado cada labor, riego, fenología o corte, se realiza el calendario ubicado en *Anejo 1.- Cronograma*

Este proceso de corte consistió en un primer lugar, con la recepción de la planta en el laboratorio, donde se le hizo una foto con escala para ver el tamaño que ha alcanzado (*Anejo 4.- Evolución de las plantas*). Seguido, se separó la parte aérea de lo demás, quedando tallo y hojas por un lado, y suelo con raíces en otro.

Con la parte aérea, se separaron hojas y tallo, las hojas, para ver cómo va evolucionando su tamaño, se escanearon, y se llevaron a pesar, para después meterlos en estufa a secar. Mientras, por otro lado, con la maceta donde se encontraban las raíces, con mucho cuidado, encima de una bandeja se separó, de manera manual, el suelo de las raíces, cuidando de no romper de más las ramificaciones; una vez limpia la raíz se escaneó para comparar y al igual que con la parte aérea se llevó a pesar para meterlo en la estufa a secar.

Para finalizar el proceso de corte, en una bandeja se dejó el suelo de la maceta a secar a temperatura ambiente para que de manera paulatina fuese perdiendo humedad. En este punto, para determinar la humedad del suelo en el momento del corte, se tomó una muestra de suelo tras su puesta en bandeja, y se pesaba, para posteriormente, meterlo en estufa y pesarse el suelo en seco, registrándose el peso inicial y final del suelo, obteniendo la humedad.

Una vez seco el suelo de la bandeja, se pasó por un tamiz de 2 mm de luz de malla, para posteriormente realizarse las determinaciones edáficas necesarias, valorando así la influencia del Promesol sobre el suelo.

A continuación, se encuentra de manera detallada los aspectos más importantes del experimento.

3.1.1.- Promesol 5x

El mejorador de suelos o acondicionador de suelos es un producto formulado a base de concentrados de cascarillas agrícolas, fabricado por la compañía INNOVAK para potenciar la agregación en el suelo, facilitando su laboreo. Actúa sobre la estructura física del suelo, favoreciendo con ello el crecimiento de las raíces y las condiciones de humedad, debido a que hace que el suelo sea menos compacto y más “esponjoso”.

Es de pH ácido, entre los 5 – 6.5; al tratarse de un producto hecho con extractos de cascarillas agrícolas, no es residual, siendo un producto de muy bajo impacto ambiental, pero sin llegar a ser un producto orgánico.

Se quiere aclarar, que para la posterior discusión sobre los resultados obtenidos de cada parámetro, se ha consultado una serie de artículos y trabajos que hablan en general sobre el uso de mejoradores y acondicionadores de suelo y como afectan, debido a la escasa presencia de trabajos con uso de Promesol 5x

3.1.2.- Características iniciales del suelo

El suelo franco usado para el actual ensayo posee las siguientes características químico-físicas:

- Textura franca con un 20% arcilla, 36% de limos y 44% de arenas
- pH 1/2.5 de 8.286, siendo moderadamente alcalino.
- CE 1/5 de 0.291 dS/m, siendo un suelo no salino.
- Materia Orgánica de 6.58 g/kg, muy bajo en materia orgánica.
- Nitrógeno total de 0.17 g/kg
- Ureasa de 0.008 $\mu\text{mol N-NH}_4$ / g suelo seco
- Capacidad de Intercambio Catiónico de 7.167 meq/100g suelo, siendo un valor muy bajo

El suelo franco – arenoso presentó unos valores aproximados del suelo anterior (el pH o la CE disminuyeron no significativamente), pero al añadirle la arena de sílice lo que sí que varió fue la textura, pasando a ser diferentes las fracciones texturales: 15% arcilla, 20.7% de limos y 60.3% de arena.

3.2.- PARÁMETROS EDÁFICOS (QUÍMICOS y FÍSICOS)

En el siguiente apartado, se van a describir las diferentes propiedades del suelo estudiadas en el laboratorio a la finalización del ensayo, así como la metodología empleada para la obtención de los resultados

3.2.1.- CE 1/5

La conductividad eléctrica (CE) es el parámetro encargado de medir la concentración de sales solubles que se hallan presentes en el suelo, debido a que este posee de manera natural sales disueltas que son esenciales para el crecimiento de las plantas. En este proyecto, el parámetro se va a expresar en decisiemens metro, dS/m.

Para su determinación se han tomado 5g de suelo de cada muestra, añadiéndole 25 ml de agua destilada, preparándose una dilución 1:5. Tras ello, se deja agitando la muestra durante 30 minutos, pasado ese tiempo se va a filtrar en papel vegetal, consiguiendo una fracción líquida, que se procede a medir mediante un conductímetro, véase Figura 2.



Figura 2 Conductímetro de la marca Crison microCM 2202

3.2.2.- pH 1/2.5

El pH, conocido como potencial de hidrógeno, es una de las propiedades químicas encargada de determinar el grado de adsorción de los protones de hidrógeno por un suelo, indicando si el suelo es ácido o alcalino. Es un factor importante debido a que es uno de los indicadores principales ante la disponibilidad de los nutrientes para las plantas.

Para su realización se han tomado 10 g de suelo de cada una de las muestras y adicionando 25 ml de agua destilada a este, siendo una dilución 1:25. Seguido de ello, se ponen a agitar en el agitador durante 10 minutos, para posteriormente dejarse reposar durante 30 minutos. Una vez pasado ese tiempo se procede a medir el pH mediante el pHmetro, véase Figura 3.

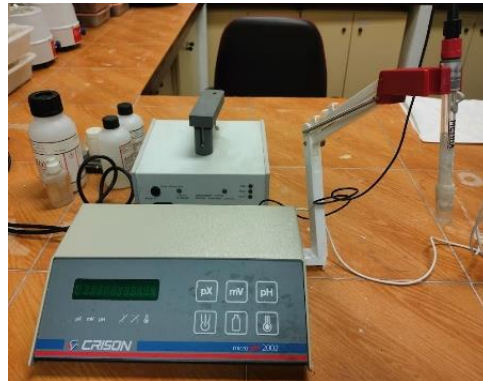


Figura 3 pHmetro de la marca Crison micropH 2002

3.2.3.- Nitrógeno

El nitrógeno es uno de los elementos de mayor importancia, junto con el fósforo y potasio, ante la nutrición de las plantas, ayudando a tener un mayor crecimiento y desarrollo foliar, así como en la producción de clorofila. Además, un suelo con disponibilidad de nitrógeno es un suelo fértil, por lo que los cultivos tienen un mayor rendimiento.

El análisis del nitrógeno se ha llevado a cabo a través del método Kjeldahl, con el cual se determina el contenido de nitrógeno total en la muestra. Este método consta de tres etapas: Digestión, destilación y valoración.

Para la etapa de digestión es necesario pesar 1g de muestra de cada suelo y se añade a un tubo Kjeldahl junto con un catalizador, a esto se le adiciona 7 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4), y se introducen las muestras en el digestor (Figura 4), durante 90 minutos. En esta etapa se produce la transformación del nitrógeno orgánico a amonio (NH_4^+), gracias a las altas temperaturas que se alcanzan en combinación con el ácido.

En la etapa de destilación, una vez enfriados los tubos, se añade a cada muestra 50 ml de agua destilada, y aparte, en matraces de 250 ml se pone 10 ml de ácido bórico. Una vez se tiene, se coloca el tubo y el matraz en el destilador (Figura X). En esta etapa de destilación se consigue la separación del nitrógeno, convirtiendo los iones de amonio en amoniaco (NH_3), que este último pasa al matraz donde se encuentra la solución receptora de bórico.

La última etapa es la de valoración, con el producto recogido en el matraz, donde se encuentra el ácido bórico junto con el amoniaco originado por la destilación, se le va añadiendo de manera paulatina H_2SO_4 0,1N hasta que la solución pase del color verde a un color rosado. Con el valor obtenido de la valoración y con el cálculo correspondiente se puede conocer ya la cantidad de nitrógeno presente en el suelo.

A continuación se adjunta la fórmula usada.

$$\text{Nitrogeno (\%)} = \frac{(\text{ml ácido valorante} - \text{ml blanco}) \cdot N \text{ del ácido} \cdot 1.4007}{\text{peso de la muestra en gramos}}$$

Fase de digestión



Fase de destilación



Figura 4 En Fase de digestión se encuentra la campana de extracción junto con el digestor; En la fase de destilación, el destilador usado también en la ureasa y en la Capacidad de Intercambio Catiónico

3.2.4.- Ureasa

La ureasa es una de las enzimas más importantes en los suelos, debido a que es parte del ciclo del nitrógeno. Esta enzima se encarga de catalizar la urea en un compuesto conformado de dióxido de carbono, amonio y nitrógeno.

La importancia de conocer las enzimas se debe a que intervienen en la mayoría de los procesos que tienen lugar en el suelo y las funciones que realizan son de gran importancia. Son responsables de la formación de moléculas orgánicas y particularmente tienen una participación vital en el ciclo nitrógeno, fósforo y carbono. Cumplen un papel vital en procesos tales como la mineralización, inmovilización de nutrientes y fijación biológica de nitrógeno, entre otros (Henríquez et al., 2014)

Para la determinación de la ureasa, en un matraz se añade 2 g de suelo junto con tampón fosfato (fosfato sodio monobásico más fosfato sódico dibásico) y una solución de urea al 6,4%, y se pone en incubación bajo agitación 2 horas, al no contar con una única máquina que haga ambos procesos a la vez, se pusieron las muestra en baño maría durante 90 minutos a 37 °C, y transcurrido ese tiempo, se pasaron a un agitador durante 30 minutos. Posteriormente, se filtran las muestras, para poder destilar el extracto obtenido durante 3 minutos. Pasado el tiempo, como pasaba con el método Kjeldahl, el destilado recogido con solución de ácido bórico se valora con H₂SO₄, que con el valor obtenido y con el cálculo correspondiente se puede conocer ya la cantidad de ureasa expresada en $\mu\text{mol N-NH}_4/\text{g}$ suelo seco.

3.2.5.- Materia Orgánica (M.O)

La materia orgánica es la parte del suelo que se origina por la descomposición de seres vivos, ya sean vegetales o animales, por acción de microorganismos. Los autores denominan indistintamente materia orgánica o humus a la parte orgánica que cumple un papel esencial en el suelo (Julca-Otiniano et al., 2006). Entre sus aportaciones al suelo se encuentra la mejora estructural de este, debido a que favorece la presencia de agua y su retención, mejorando también las propiedades biológicas, favoreciendo los procesos de mineralización, cubiertas vegetales.

Para la realización de la materia orgánica se ha llevado a cabo el método de calcinación por ignición (LOI). Este consiste en estimar la cantidad de materia orgánica del peso del suelo que se pierde por ignición. Siguiendo el método, en primer lugar se deben poner las muestras a secar en la estufa a 105 °C, para que pierdan toda la humedad. Una vez secas, se pesan, y a continuación

se introducen en una mufla a 450 °C, y pasado el tiempo se vuelven a pesar, obteniendo así, la diferencia de peso entre la primera temperatura (105 °C) y la última (450 °C). Su cálculo es el siguiente:

$$\text{Fracción orgánica (\%)} = \frac{(\text{Peso suelo } 105^{\circ}\text{C} - \text{Peso suelo } 450^{\circ}\text{C}) \cdot 100}{\text{Peso suelo } 105^{\circ}\text{C}}$$

3.2.6.- Capacidad de Campo (C.C)

Según define la FAO, la capacidad de campo es la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. Este concepto se aplica a aquellos suelos que están bien estructurados, donde el drenaje del exceso de agua es rápido.

Para determinar la capacidad de campo de las muestras, se ha hecho uso de una olla de baja presión a 0,3 atm en la cual se va a incorporar el suelo y se va a ir extrayendo el agua de la muestra y de la propia olla hasta llegar a un punto de equilibrio, donde el suelo ya es capaz de resistir y mantener el agua que le queda.

Para llevar a cabo el proceso, es necesario contar con una bandeja que soporte hasta 1 atm, en esta es donde, gracias a unos anillos, se encontraran las muestras de suelo. Tras ello, se dejará la bandeja saturando, consiguiendo así que el suelo tenga la suficiente humedad para poder llevarlo a la olla de Richard de baja presión (Figura 5) (el proceso que se efectúa en el interior de la olla se encuentra explicado en el párrafo anterior). Una vez se llega al punto de equilibrio, se sacan las muestras de la olla, y se pesan los anillos con la muestra que están a capacidad de campo. Una vez pesados, se procede a secarlos en estufa a 105 °C y transcurridas 24 horas se sacan para volver a pesarlos ya secos. La diferencia entre ambos pesos indicaría la capacidad de campo, expresada en porcentajes.



Figura 5 Olla de Richard de baja presión para 0.33 atm.

3.2.7.- Estabilidad de agregados (EA)

La estabilidad de agregados es la capacidad que tiene el propio suelo para mantener la estructura en forma de agregados, que serían las partículas grandes que se encuentran unidas aumentando con ello el espacio poroso donde se almacena el agua. La EA se considera un buen indicador del manejo sostenible del suelo, por ser sensible a modificaciones a corto plazo y por influir de forma activa sobre los diversos factores que afectan a la productividad de los cultivos (Lince – Salazar et al., 2020)

Para su obtención se ha llevado a cabo el método de tamizado húmedo. En este método lo que se busca recrear es el proceso de erosión hídrica en el suelo. Para ello, con el suelo seco, se pesan 4 g de suelo y se deposita en el tamiz de 0,125 mm de luz. Siguiendo con el proceso, en

primer lugar, en una cazoleta de aluminio se echan 80 ml de agua destilada, y se somete al tamiz, con una agitación constante de movimientos ascendentes y descendentes durante 3 minutos, ya que con este movimiento se consigue que el tamiz entre en contacto con el agua, y saliendo de esta en el momento de ascender (Figura 6). Una vez terminada la primera parte, en otra cazoleta se añade 80 ml de solución de hexametáfosfato de sodio 2 g/l, y como en el proceso anterior, se vuelve a someter al tamiz, esta vez 5 minutos. Por último, en una nueva cazoleta se recoge con agua destilada los restos de muestra que quedan en el tamiz. Una vez finalizado las tres partes, se cogen las cazoletas para someterlas en estufa a 105 °C y poder quitarles la humedad, para su posterior pesado



Figura 6 Tamiz usado para realizar el método de tamizado húmedo

La fórmula usada para el cálculo de agregados es la que se muestra a continuación:

$$\text{Agregados estables en agua (\%)} = \frac{(\text{fracción estable}) \cdot 100}{(\text{Peso total suelo seco})}$$

3.2.8.- Capacidad de Intercambio catiónico

La Capacidad de Intercambio catiónico (C.I.C) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo. Es decir, expresa el número total de cationes intercambiables que un suelo puede o es capaz de retener. El saber la capacidad de intercambio que posee el suelo es esencial, debido a que este valor indica el potencial del suelo a retener e intercambiar nutrientes. Esto se consigue al hacer pasar una solución que posea al catión a analizar, a través de una muestra de suelo, o a través de la sumatoria de cationes extraídos del complejo de cambio del suelo. (Rodríguez & Galíndez, 2011).

Para la obtención de la capacidad de intercambio catiónico se ha usado el método sacado por la FAO de acetato de amonio 1N, pH 7,0 (FAO, 2022). El procedimiento seguido es el siguiente, se pesan 5 g del suelo de cada muestra y se pone en tubos de extracción de 50 ml, donde se le añaden 33 ml de acetato amónico 1N pH 7,0, poniéndose a agitar durante 15 minutos para después centrifugar. Tras ello, se debe repetir el proceso explicado, desde la adición del acetato amónico, hasta ahora dos veces más.

El siguiente paso a seguir, con las muestras de los tubos de extracción de 50 ml obtenidos del paso anterior, se someten a dos lavados consecutivos con 50 ml de etanol al 96 %, siendo previamente agitados durante 15 minutos.

Seguido de ello, para desplazar los iones de amonio adsorbidos, en los tubos de extracción se añaden 33 ml de una solución NaCl al 10%, se agitan durante 15 minutos y se centrifuga. Con el sobrante obtenido, se filtra en un matraz aforado de 100 ml. Al igual que en los pasos anteriores, se debe repetir el proceso dos veces más, añadiendo lo obtenido al matraz para obtener un próximo a 100 ml, finalmente, se enrasa con la solución de NaCl y se mezcla.

De lo obtenido en esos 100 ml, se transfieren 50 ml a un tubo de destilación y en el matraz encargado de recoger el destilado, 25 ml de ácido bórico y se destila. Finalizada la destilación, se valora lo recopilado en el matraz con HCl. Su cálculo es el siguiente:

$$CIC \frac{meq}{100 g \text{ suelo}} = (HCl \text{ muestra} - HCl \text{ blanco}) \cdot N \cdot \frac{100}{5} \cdot \frac{100}{50}$$

3.3.- PARÁMETROS DEL CULTIVO

En el siguiente punto se describen los aspectos fisiológicos básicos de las etapas iniciales del cultivo del pimiento, así como indicadores de crecimiento tanto de la parte aérea como de la zona radicular

3.3.1.- Fenología y morfología de las plantas

En el siguiente apartado se explican los aspectos fisiológicos que se han estudiado. En primer lugar, se mencionan aquellos que se tuvieron en cuenta durante la parte del ensayo que se llevó a cabo en el invernadero, seguido de estas, las que se realizaron durante los cortes en el laboratorio.

En este punto se tenía en cuenta el número de hojas que tenía cada planta, debido a que al ser un mejorador que se centraba principalmente en las propiedades físicas se podía ver influenciado por ello, pasando lo mismo con el crecimiento en longitud del tallo. También se analizaban la cantidad de botones florales que iban naciendo en cada planta y cuantos de ellos llegaban a flor y posteriormente a fruto, debido a que es un factor importante en cuanto a producción, ya que algunos eran abortados.

El siguiente paso se realiza ya en el laboratorio tras el corte.

Con el corte se obtiene, por un lado, la parte aérea y por otro el suelo con la raíz. Las hojas y el tallo se pesan, para poder comprobar si con el paso del tiempo se muestran diferencias físicas o de grosor, en lo que respecta al tallo, ya que esta evaluación puede indicar si es eficiente o no la aplicación de producto.

Una vez se finaliza con la parte aérea se analiza la zona radicular. En primer lugar, se mide la raíz que mayor longitud posee, indistintamente de si es la principal o secundaria. Tras ello, se lleva a pesar, con esto se puede observar comparándola con las demás si es capaz de retener más agua y nutrientes por su grosor, o si su peso se debe a que tiene muchas ramificaciones. Por ello, una vez pesada se escanea para poder valorar bien a partir de la imagen si se trata de una planta que no ha necesitado mucho desarrollo radicular para disponer de los nutrientes o, todo lo contrario, e incluso si posee un mayor grosor o no que otras.

3.4.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se ha usado el programa estadístico de Statgraphics 19. En este programa se ha usado la herramienta ANOVA con su análisis simple, y en algunos casos, donde no se apreciaba diferencia entre los factores, el análisis multifactorial.

A fin de tener una mayor claridad en la comparativa, se ha analizado de manera individual cada suelo, por un lado suelo franco, y por otro franco – arenoso, dejando como factor fijo el tratamiento aplicado en cada caso, debido a que es el objetivo principal del proyecto, modificando solo las variables. Por otro lado, en los casos donde se ha requerido del uso de un multifactorial, los factores a analizar han sido, en el siguiente orden: tipo de suelo, producto aplicado y el día de corte de la planta.

4.- RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1.- PARÁMETROS EDÁFICOS

Para la visualización de los valores obtenidos en cada parámetro estudiado respecto al tipo de suelo y producto en cada maceta se recomienda ver *Anejo 2.- Valores de los parámetros edáficos*

4.1.1.- CE (dS/m)

La presencia de sales en el suelo es esencial para un correcto crecimiento de las plantas, sin embargo, un exceso de estas puede desencadenar problemáticas, como en el equilibrio del suelo y agua, o en el desarrollo de las plantas.

Se muestra la Tabla de clasificación de la conductividad eléctrica y la clase de salinidad que sería para el suelo (Tabla 1)

Tabla 1 Mediciones de conductividad eléctrica y clases de salinidad. Fuente: USDA

CE _{1:5}	Calificativo
< 0.35	No salino
0.35 – 0.65	Ligeramente salino
0.65 – 1.15	Salino
> 1.15	Muy salino

Como se aprecia en la Tabla (Tabla 1), a menor sea el valor de la conductividad, menos salino es el suelo, indicando que la respuesta del cultivo es positiva, es decir, no se muestran efectos de salinidad y no se ve afectado, así como los microorganismos que habitan en él. Por otro lado, a mayor sea la conductividad, más salino es el suelo, siendo una gran problemática porque la respuesta al cultivo es negativa, teniendo serios problemas de salinidad, desencadenando deficiencias, siendo solo los suelos salinos valores para cultivos muy resistentes a la salinidad.

A continuación, se muestran las gráficas (Figura 7) sobre los resultados obtenidos en cuando a la salinidad del suelo. Empezando con el suelo franco, sus valores con ambos tratamientos se comprenden entre 0.46 – 0.58 dS/m indicando un suelo ligeramente salino. Si se analiza de manera independiente cada tratamiento, se comprueba que no supone riesgo extremo al cultivo con estos niveles. Con la aplicación del mejorador, estos valores disminuyen en un 6%, aproximándose a los valores mínimos del rango calificativo.

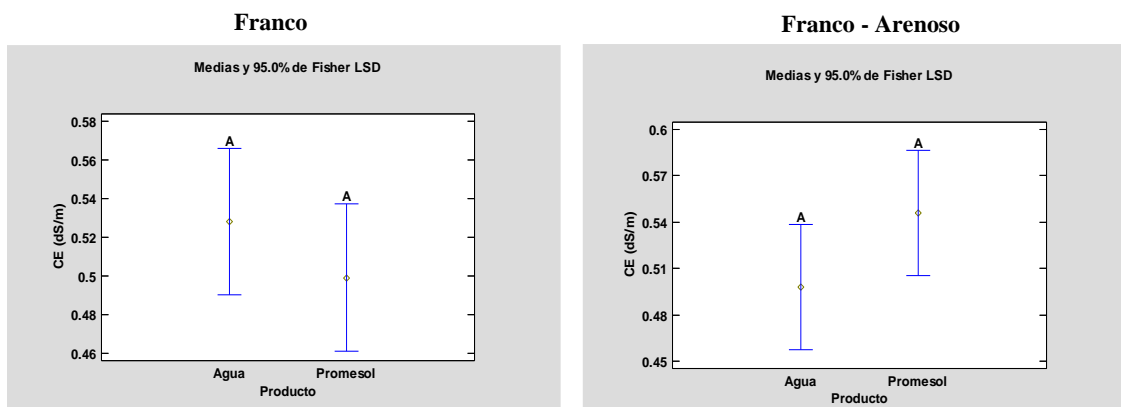


Figura 7 Gráfica de valores obtenidos de CE en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19

En el suelo franco - arenoso, cuyos valores se encuentran comprendidos entre 0.45 – 0.6 dS/m, mostraron un suelo ligeramente salino en ambos tratamientos, como se comentaba en el párrafo anterior. Se observa que en las plantas con tratamiento de agua los valores de CE dieron entre 0.45 – 0.54 dS/m, algo lógico para un tratamiento de agua en un suelo que posee una parte de arenas. Sin embargo, cuando se le aplicó el producto, se ve como la conductividad aumentó, a pesar de que los valores mantienen el suelo con la clasificación de ligeramente salinos, en un 10% en lo que dura el ensayo.

Para comprobar si ese aumento pudiese originar problemáticas en un futuro por la aplicación constante del mejorador, lo correcto sería alargar el experimento para poder desprestigiar de manera significativa problemas sobre la salinidad.

No obstante, en un ensayo realizado con una variante del producto usado, Promesol Ca⁺, Piña – Ramírez *et al* (2021), obtuvieron resultados significativos, mejorándose la conductividad al reducirse la presencia de sales en el suelo. De seguirse esta tendencia en una experiencia más extensa, se podría probar con el Promesol Calcio, puesto que tiene la misma base que el Promesol 5x inicialmente, aunque el 5x está mejorado. Este tipo de productos formulados con un alto porcentaje de calcio desplaza las sales, al reducir por lavado los niveles de sodio y ayudar al desarrollo de las raíces. (Meloni *et al.*, 2015)

En el experimento presente, ambos suelos se clasifican como ligeramente salino, pudiendo las sales presentes en el suelo afectar a la absorción del agua, desencadenando problemas en el desarrollo de la planta. En las variables analizadas, como tratamiento, tipo de suelo y momento del corte de la planta, no se mostraron diferencias ni afecciones al cultivo, dándose las diferencias en la morfología y fenología por el tipo de suelo y no por la presencia de sales, por lo que a priori, ese aumento de sales no provocó problemas o fisiopatías en las plantas.

4.1.2.- pH

Como se mencionaba anteriormente, el pH de un suelo es esencial para saber la disponibilidad de los nutrientes en este.

En primer lugar, se muestra la Tabla de clasificación de suelos según el pH (Tabla 2), junto con la relación entre la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y el pH (Figura 8).

Tabla 2 Clasificación del pH. Fuente: USDA

pH	Categoría
< 5	Extremadamente ácido
5 – 5.5	Fuertemente ácido
5.5 – 6	Moderadamente ácido
6 – 6.5	Ligeramente ácido
6.5 – 7.3	Neutro
7.4 – 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 – 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 – 9	Fuertemente alcalino

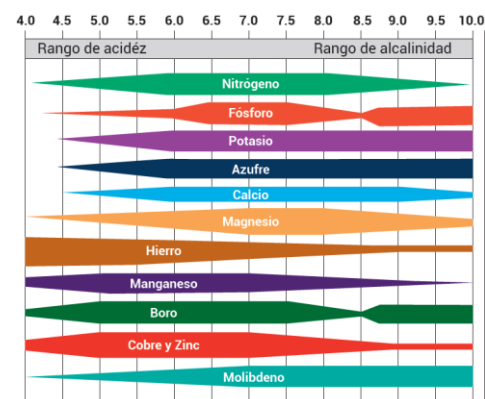


Figura 8 Disponibilidad de nutrientes en el suelo en relación con el pH (Toledo *et al.*, 2017)

Si se analiza la relación entre la disponibilidad y el pH, se ve que en su mayoría cuando más disponibles se encuentran es cuando el suelo posee un pH comprendido entre moderadamente

ácido y neutro. Sabiendo que de partida se contaba con un suelo moderadamente alcalino, la disponibilidad de nutrientes en el medio ya es menor que en un suelo neutro. Esta es la situación habitual en los suelos mediterráneos, debido a la naturaleza calcárea (Reuter *et al.*, 2008)

Observando la siguiente gráfica (Figura 9), y analizando en primer lugar la del suelo franco, se aprecia como en general el pH se encuentra comprendido entre los valores de 8.2 a 8.5, indicando así un pH moderadamente alcalino. Si bien, mirando de manera independiente cada tratamiento, se ve como el uso del Promesol 5x disminuyó el pH del suelo levemente.

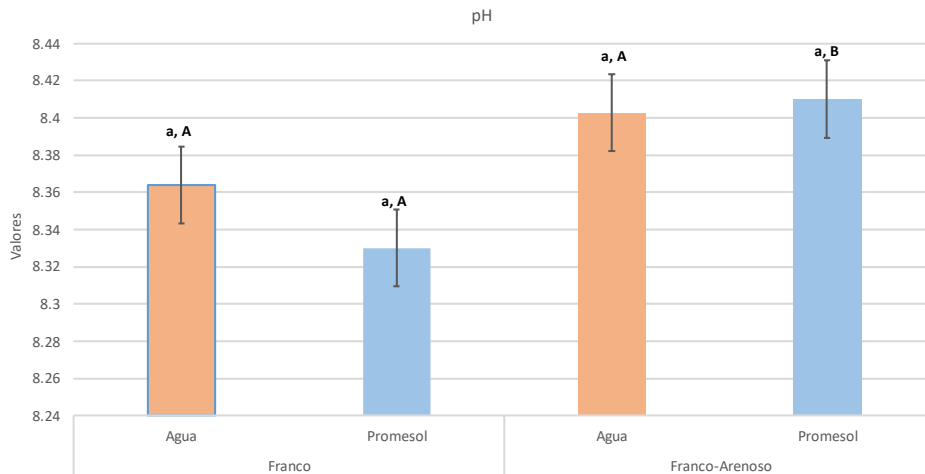


Figura 9 Gráfica de valores obtenidos de pH en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento

En el suelo franco arenoso, los valores de pH se encuentran entre 8.3 – 8.54, pero a diferencia del primer suelo, las diferencias entre los tratamientos en este suelo son imperceptible (aunque en el caso de la aplicación del Promesol, el valor medio es ligeramente superior). Por tanto, su aplicación no modificó el carácter básico del suelo.

Los resultados obtenidos demostraron como entre los tratamientos de un mismo suelo no hay significancia, no habiendo diferencias entre los distintos días de corte. Sin embargo, si se mira los valores entre tratamientos de Promesol, se comprueba como hay una significancia estadística entre ellos. En general, los valores más altos obtenidos en el suelo franco – arenoso se debieron a la presencia de las arenas, o menor contenido en materia orgánica.

Como se ha podido comprobar, ambos suelos tienen un pH moderadamente alcalino, que si se compara con la disponibilidad de nutrientes de la Figura 8, se puede observar como la mayoría de los nutrientes se encuentran disponibles, pero no es su mayor cantidad. Centrándonos en los esenciales como son los NPK (Nitrógeno – fósforo – potasio), en suelos como estos, el único que se encuentra en su máxima disponibilidad es el potasio, pudiendo existir deficiencia de fósforo.

Sin embargo, como se analiza en la gráfica, en el suelo franco, la aplicación del mejorador disminuyó de manera leve con el paso del tiempo el pH del suelo, siendo algo positivo. Si la duración del experimento hubiese sido mayor, los resultados obtenidos en este parámetro serían más concluyentes, pudiéndose notar una mejoría en los valores de pH en un suelo franco, así como comprobar si el producto en un suelo con arenas vuelve más alcalino el medio o se debe solo a un efecto temporal entre la composición del Promesol y del suelo.

Comparando los resultados obtenidos, con el ensayo realizado por *Abascal Ponciano* (2018) con una duración similar a la del experimento presente, sobre una variedad de frijoles, el

pH, respecto al suelo inicial, en un suelo franco, la aplicación del producto disminuye los valores de pH, acidificando el suelo. Como se puede apreciar, al igual que con el pH obtenido en el ensayo, la aplicación del producto en el suelo franco reduce los valores, algo con sentido debido a que el producto posee unos niveles de pH entre 5 – 6.5.

4.1.3-. Materia Orgánica (M.O)

Como se menciona anteriormente, la materia orgánica es la parte del suelo que se origina por la descomposición de seres vivos, resultando beneficioso para el propio suelo, mejorando sus propiedades.

Los valores iniciales de materia orgánica en el suelo franco indican que el porcentaje de materia orgánica es muy bajo, con la presencia de arenas, ese valor es menor, siendo un suelo poco susceptible de retener menos agua.

La Tabla que se adjunta a continuación (Tabla 3), se ha obtenido del Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, donde, dependiendo del tipo de suelo que se posee, se han clasificado los valores desde muy bajo porcentaje de MO a muy alto.

Tabla 3 Clasificación del Materia orgánica. Fuente: MAPAMA

% Materia Orgánica	Suelo arenoso	Suelo Franco
Muy bajo	0 – 1.75	0 – 1.5
Bajo	1.76 – 2.5	1.5 – 2
Normal	2.51 – 3.5	2 – 3
Alto	3.51 – 4.25	3 – 3.75
Muy alto	> 4.25	> 3.75

Observando la gráfica (Figura 10) se aprecia como los valores de materia orgánica son muy bajos, independientemente del tratamiento que se tenga, no superando el 1.11% en suelos francos y el 0.78 % en suelos franco – arenosos.

Centrándose en el primer suelo, se comprueba que para ser un suelo franco la materia orgánica que tiene es demasiado baja. Si se ven los datos del regado únicamente con agua, se aprecia que el rango de valores es bajo, pudiendo ser un problema si lo que se quiere es tener una buena producción, y que esta sea lo más eficiente con los recursos. Con la aplicación del producto, esos valores subieron hasta un 3%, siendo algo positivo pero no lo suficiente para ser estadísticamente significativos.

Para el suelo franco – arenoso, como se aprecia, los valores fueron más bajos aún, algo coherente debido a la presencia del porcentaje de arenas en el suelo, caracterizándose estas por tener un drenaje rápido con una menor capacidad de retención de nutrientes y agua, además que poseen una descomposición rápida. Sin embargo, como pasaba con el suelo anterior, si este suelo quiere usarse para ámbito agrícola no es algo bueno esos valores de MO. Siguiendo el patrón del suelo franco, las macetas con aplicación de producto presentaron un leve incremento de MO, siendo mayor en los cortes donde se realizó previamente la aplicación de producto. En este suelo las plantas con Promesol arrojaron unos valores de materia orgánica mayores, siendo aún clasificado como muy bajo porcentaje, pero aumentaron en un 8% con solo 3 aplicaciones del tratamiento, comprobando la efectividad del producto.

Como se puede comprobar de la gráfica, las significancias obtenidas se dan en el suelo, debido a que como se ha mencionado en el punto, un suelo franco, a pesar de tener arenas, en su textura, tiene un porcentaje menor que un suelo al cual se le adicionó arena, originando que los valores de materia orgánica en general fuesen menores, dando lugar a la significancia estadística.

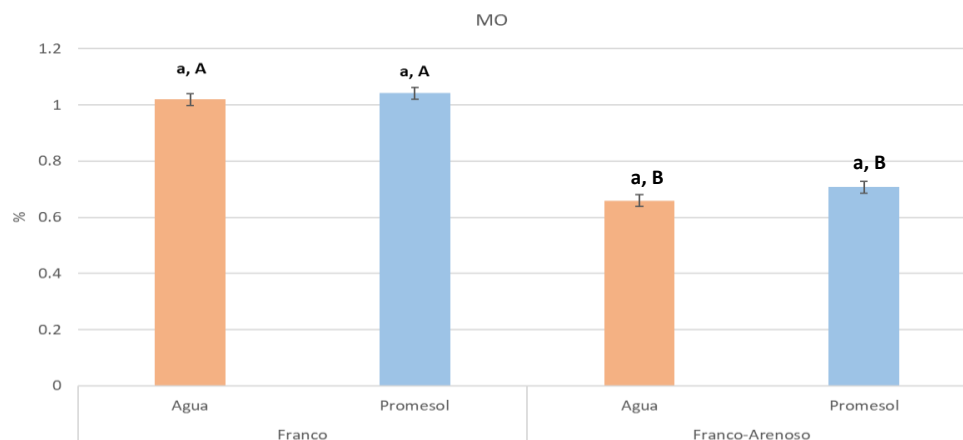


Figura 10 Gráfica de valores obtenidos de Materia Orgánica en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento

Al tratarse de un acondicionador formulado a base de cascarillas agrícolas, lo que serían residuos orgánicos que provienen de cultivos, aportan materia orgánica al suelo. En casos como los que se han dado en el ensayo, cuyos valores de MO son mínimos, se ha comprobado que la aplicación de enmiendas orgánicas procedentes de residuos sólidos mejora, según *Egene et al.* (2021) la humificación y presencia de la materia orgánica efectiva.

4.1.4-. Nitrógeno

El nitrógeno es uno de los elementos de mayor peso, jugando un papel importante en el suelo. Su análisis puede indicar el estado de salud del suelo y como esto puede influir en el desarrollo del cultivo.

Los valores de nitrógeno se ven afectados por diversos parámetros, entre ellos, el tipo de suelo que se tiene, en este caso son suelos franco y franco – arenosos, que a su vez influye en la cantidad de materia orgánica que está presente en el suelo. Sí se miran los resultados obtenidos de MO (4.1.3-. *Materia Orgánica (M.O)*), los valores fueron muy bajos, indicando poca presencia de esta. Los suelos que se tiene, sobre todo el franco – arenoso, se caracteriza por tener unos valores de nitrógeno bajos, por su baja capacidad de retención de nutrientes; el franco, en todo caso, suelen tener una estructura más beneficiosa en lo que a retención de nutrientes.

A continuación, se muestra una interpretación sobre los valores de nitrógeno obtenido según el método Kjeldahl (Tabla 4).

Tabla 4 Contenido de nitrógeno en los suelos. Fuente: AGRUCO

Clasificación	Niveles de N total (%)
Muy bajos	< 0.05
Bajo	0.05 – 0.15
Moderado	0.15 – 0.20
Alto	0.20 – 0.30
Muy alto	> 0.30

Si se analizan las gráficas de resultados sobre la experiencia que se llevó a cabo (Figura 11), se aprecia como en un suelo hay una mayor diferencia entre tratamientos que en otra. Empezando por el suelo franco, se observa como en las plantas regadas únicamente con agua, el porcentaje máximo que se puede alcanzar es el de 0.029% un valor muy bajo, en cambio, con la aplicación de Promesol, estos valores llegan hasta el 0.043%, aumentando en un 48%, el doble. Si se compara con la Tabla 3, el resultado con el Promesol se acerca a valores de “bajo”. Este resultado es algo positivo, ya que, como se ha mencionado, la presencia de nitrógeno en el suelo es beneficioso, tanto para el propio suelo y su conservación.

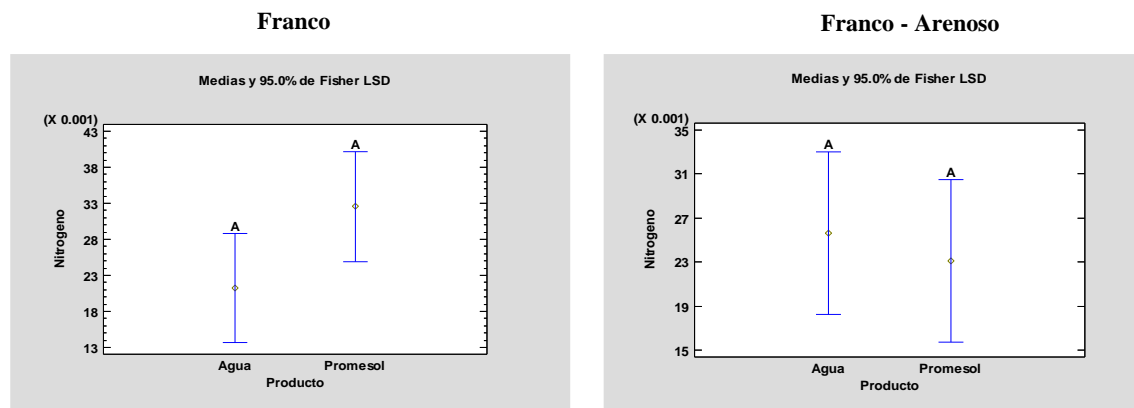


Figura 11 Gráfica de valores obtenidos de nitrógeno en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19

En cambio, en el suelo franco – arenoso, los valores de ambos tratamientos son bajos, siendo levemente superior el tratamiento de solo agua, contrario a lo que pasaba en el suelo franco, donde el de mayor valor era el tratamiento con producto. En este suelo, la diferencia entre ambos tratamientos no es significativa, debido a que tanto los máximos como los mínimos son similares. Sin embargo, esa disminución de nitrógeno en el suelo, de un 8%, que se produce de manera paulatina en cada uno de los cortes, pudo deberse a que al estar más disponible el elemento, las plantas lo absorbieron en mayor medida para su crecimiento, algo que se comprobará más adelante en el apartado de fenología (4.2.- Fenología) o a una lixiviación originada por el riego. No obstante, la lixiviación, es un factor que puede originar ese descenso, pero, en este ensayo, al no haberse recogido los lixiviados ni medido la composición química ni su volumen, no se puede determinar como un factor desencadenante.

Como se ha comprobado ante los resultados de nitrógeno obtenidos, el uso del producto ha resultado más ventajoso en un suelo que en otro. En el suelo franco, la diferencia entre ambos tratamientos es notoria, pero no significativa, mejorando la presencia de nitrógeno que tiene el suelo. En cambio, para el suelo con presencia de arenas, el nitrógeno, aparte de tener valores bajos, se ha mantenido en ellos con la adición del producto, incluso disminuyendo un poco la presencia de nitrógeno.

4.1.5-. Ureasa

La ureasa es la encargada de hidrolizar la urea y convertirla así en amonio, forma inorgánica del nitrógeno que aprovechan las plantas.

Se conoce que esta enzima es un factor importante para saber si el suelo está en buen estado, así como saber la disponibilidad de los nutrientes. Otro parámetro estudiado que indica la disponibilidad de los nutrientes es el pH, estrechamente relacionado con la actividad de la ureasa, debido a que el pH óptimo para la actividad de la ureasa varía entre 6.5 y 7 (Sierra Bernal, 2010) que es donde se encuentran disponibles la mayoría de los nutrientes necesarios para las plantas. Si bien el pH de ambos suelos ronda el 8 – 8.5, indicando con ello que la disponibilidad de la

ureasa será menor, así como de nutrientes, como se muestra en el análisis del suelo, donde la ureasa tiene un valor bajo.

Observando las gráficas (Figura 12), se aprecia como la diferencia entre tratamientos no es significativa. En el suelo franco, la aplicación del acondicionador de suelos aumentó la presencia de ureasa en un 11%, lógico sabiendo que en el caso del suelo franco, el uso de Promesol aumentó el nitrógeno y materia orgánica, y disminuyó el pH

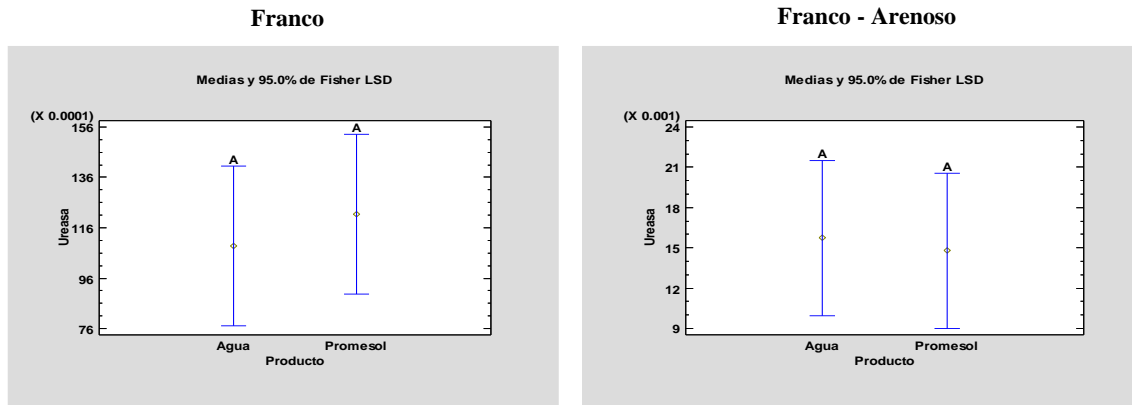


Figura 12 Gráfica de valores obtenidos de ureasa en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19

Por otro lado, en el suelo franco – arenoso, los valores en ambos tratamientos se mantuvieron similares, siendo la variación de un 6% a favor del riego con agua. Al igual que con el otro suelo, si se comparase con lo obtenido en otros parámetros, los resultados obtenidos tienen sentido, debido a que el pH se mantuvo estable, con un ligero aumento, y la presencia de nitrógeno disminuyó.

Con ello, se comprueba que en suelos sin presencia de arenas, la actividad enzimática va en aumento, consiguiendo así un mejor estado del suelo y de la propia planta. Se debe tener en cuenta, que estas diferencias se han originado en el lapsus de tiempo de dos meses, si el ensayo hubiese durado más, como se ha comentado en otros apartados, las diferencias observadas serían mayores.

Hernández et al (2012) demostraron que los suelos tratados con adición de materiales orgánicos, como compost, presentan un incremento de la actividad enzimática, estando con ello los suelos en mejores condiciones para responder a la demanda nutricional de la planta. Esto es lo que posiblemente se observe (sin significancia estadística) en el suelo con textura franca, que al aumentar la materia orgánica y nitrógeno los microorganismos del suelo podrán desarrollarse mejor.

No obstante, respecto a los resultados del suelo franco – arenoso, Hernández et al (2012) mencionan que en otra experiencia paralela, los niveles de ureasa en los suelos tratados fueron inferiores al suelo control, siendo indicativo de que el medio tiene suficiente nitrógeno en forma amónica, por lo que no requiere de la síntesis de la enzima. Sin embargo, al compararse con los valores de nitrógeno obtenidos en el experimento, se observa como estos también son inferiores con la aplicación del mejorador, no ocurriendo lo mencionado.

4.1.6- Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)

La capacidad de intercambio catiónico es un factor importante, debido a que esta puede influir en la fertilidad y en la disponibilidad de los nutrientes. Por ello, cuando se encuentra un suelo con alta capacidad de intercambio catiónico, se sabe que es un suelo que cuenta con un buen estado y salud, debido a la disponibilidad de los nutrientes y a facilitar el desarrollo de las plantas.

No obstante, se debe tener en cuenta, que un CIC muy alto, puede causar también problemas en la accesibilidad de la planta a los nutrientes, debido a que pueden quedarse retenidos en el suelo.

En la siguiente clasificación (Tabla 5), se puede comprobar como los valores óptimos de intercambio catiónico rondan los 20 – 35 meq/100g. En el suelo original, siendo el suelo franco, los valores que se obtuvieron fueron de 7.16 meq/100g, clasificándose como muy bajo.

Tabla 5 Clasificación de CIC. Fuente: MAPAMA

CIC (meq/100g)	Clasificación del suelo
0 – 10	Muy bajo
10 – 20	Bajo
20 – 35	Normal
35 – 45	Alto
> 45	Muy alto

Si se analizan las gráficas (Figura 13), se observa como en la correspondiente al suelo franco, los resultados obtenidos son muy diferentes. En el tratamiento de únicamente agua, el valor medio que se obtuvo es de 10.685 meq/100g, estando en el límite de la clasificación como valores “bajo”. Sin embargo, con el tratamiento de Promesol, se puede ver que estos valores disminuyeron en un 43%, obteniendo unos valores comprendidos entre 4.74 a 7.29, clasificándose como muy bajo.

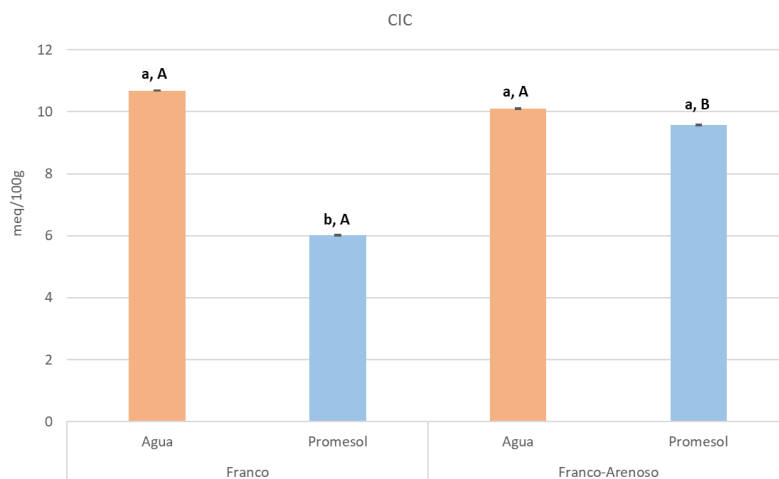


Figura 13 Gráfica de valores obtenidos de CIC en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento

En cambio, en el suelo franco – arenoso, las diferencias son menores entre ambos tratamientos. Con riego de agua, se obtuvo una media de 10.106 meq/100g, siendo unos niveles bajos; En tratamiento con Promesol, estos valores disminuyeron, encontrándose la media en un 9.569 meq/100g, clasificado como muy bajo. No obstante, los valores mínimos y máximos en cada tratamiento no fueron muy diferentes, en agua se obtuvo unos resultados comprendidos entre 8.829 a 11.382 meq/100g, y con el producto valores de 8.293 a 10.845 meq/100g, confirmándose que las diferencias entre tratamientos son mínimas, de un 5%.

Según lo que se referencia en la Figura 13, dentro del suelo franco se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los dos tratamientos, al contrario que en el suelo franco – arenoso. Luego, como se puede apreciar, entre tratamientos de Promesol, la diferencia es mayor,

alcanzando entre valores medios una desigualdad del 37%, indicando una diferencia significativa dentro del grupo de tratamientos.

Para apreciar estas diferencias, se muestra a continuación el gráfico de interacción (Figura 14), donde se puede ver la influencia que tuvo el Promesol en los suelos. En lo que respecta al tratamiento de agua, en ambos suelos las diferencias fueron mínimas, manteniéndose unos valores por encima de 10 meq/100g. En cambio, la diferencia obtenida entre el tratamiento con Promesol en ambos suelos es de un 37%, no viéndose diferencia en el suelo franco – arenoso, siendo el suelo franco el más afectado, alcanzándose valores muy bajos

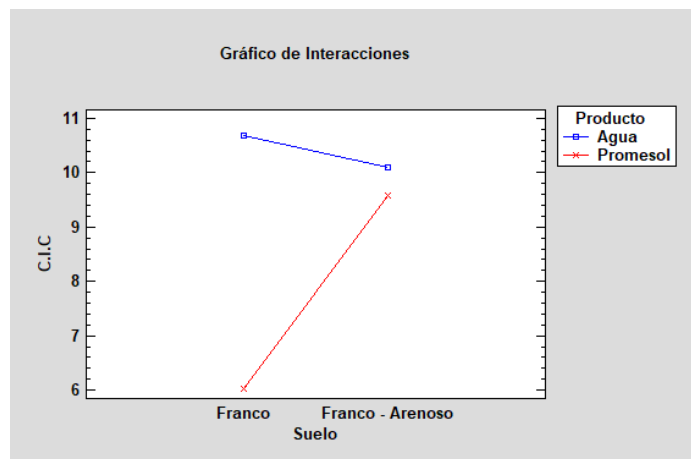


Figura 14 Gráfico de interacciones respecto al CIC. Fuente: Statgraphics 19

Los resultados obtenidos en este parámetro discrepan mucho sobre lo visualizado en los estudiados anteriormente, debido a que con la aplicación del producto se notaba una mejoría en alguno de los dos suelos. En cambio, los valores obtenidos en el suelo franco respecto al CIC, son importantes a evaluar, debido a que la disminución de un 43% en dos meses es alto. Esto puede deberse a que la composición del Promesol pudo interactuar con el propio suelo, influyendo así en la estructura de este, originando problemas en la adsorción de los cationes. No obstante, puede que estos cambios producidos puedan deberse a una incompatibilidad temporal entre producto y suelo, que con el tiempo pueda estabilizarse y revertirse.

Los resultados del CIC no han sido coherentes en este ensayo al reducirse en vez de incrementar, debido a que el producto está hecho a base de cascarillas agrícolas, que poseen sustancias húmicas, factor que ayuda a mejorar el CIC, como ocurrió en el experimento de *Abascal Ponciano* (2018) con la aplicación del Promesol, que obtuvo en un suelo franco un incremento de los niveles de CIC de manera significativa respecto al suelo inicial.

4.1.7-. Capacidad de Campo (C.C)

La capacidad de campo es la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje.

El suelo franco de partida posee una composición equilibrada que permite retener una mayor cantidad de agua, con una textura de 20% arcilla, 36% limo y 44% de arenas. Esto lo que consigue es una buena estructura y drenaje, contribuyendo a una correcta capacidad de campo.

Observando las gráficas (Figura 15), se puede ver que no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. Como se puede apreciar en el suelo franco, el porcentaje de capacidad de campo, tanto en agua como en presencia de producto, va del 12 al 14.75%, siendo menor en la presencia con producto en un 2%. Esta disminución pudo deberse a la adición que

provoca el uso del mejorador en la cantidad de materia orgánica, así como en el nitrógeno, modificando así la composición del suelo de manera leve.

En el suelo franco – arenoso, los valores en ambos tratamientos fueron los mismos, no habiendo diferencias entre riego solo con agua o con aplicación de producto

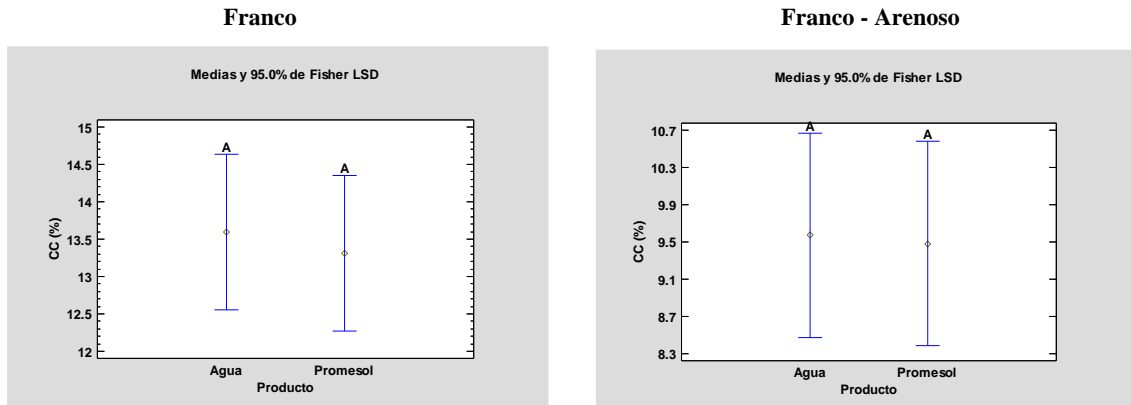


Figura 15 Gráfica de valores obtenidos de capacidad de campo en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19

Sin embargo, al no encontrar diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo suelo, se ha comparado la capacidad de campo entre los distintos suelos, encontrándose significancia estadística. Esto se debe a que al tratarse uno de un suelo franco arenoso, la capacidad de retención de agua es mucho menor que en un suelo donde tiene una composición más equilibrada entre limos, arenas y arcillas. Como se puede ver en la gráfica (Figura 16) la diferencia entre ambos es de un 41%, no encontrándose diferencia en los resultados a lo largo del tiempo.

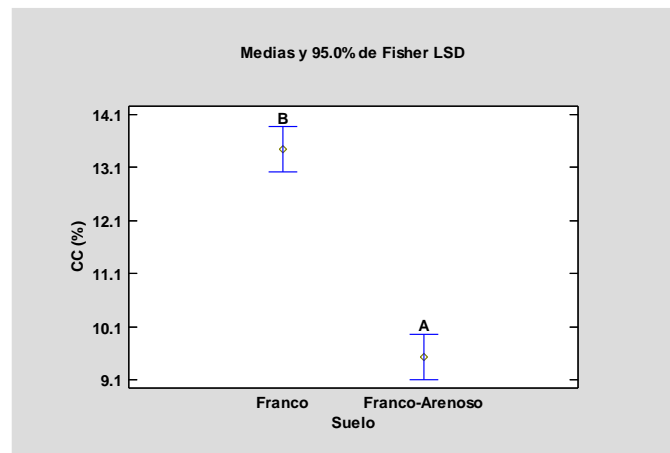


Figura 16 Gráfica de valores obtenidos de la comparativa entre los suelos de la capacidad de campo. Fuente: Statgraphics 19

Finalmente, se puede constatar como la capacidad de campo no se ve modificada por el tratamiento que se les haya aplicado a las plantas, viéndose como las diferencias en ambos casos eran mínimas, sino que esta es dependiente del tipo de textura que el suelo tiene.

4.17-. Estabilidad de Agregados

La estabilidad estructural se relaciona con la resistencia que tiene el suelo cuando es sometido a una determinada energía. Este parámetro está altamente influenciado por la química y biológica del suelo, siendo considerada una propiedad informativa de la salud del suelo (Mataix-Solera et al., 2010).

Según lo establecido en la clasificación sobre la estabilidad de agregados (Tabla 6), lo óptimo para el suelo sería encontrarse en unos valores superiores al 60%, consiguiendo así que el suelo sea capaz de mantener su estructura, así como su actividad biológica.

Tabla 6 Valores de estabilidad estructural del suelo (Kemper & Koch, 1966)

% Agregados estables	Clasificación
80 – 100	Muy estables
60 – 80	Estables
40 – 60	Moderadamente estables
20 – 40	Poco estables
0 – 20	Muy poco estables

Seguido con lo visualizado en la gráfica (Figura 17), se puede comprobar a simple vista como los valores obtenidos van en torno al 50 - 70%, siendo esto un buen indicador. Analizando el suelo franco, se observó como este al ser un suelo con una estructura equilibrada en lo que respecta a tamaño de partículas, sus valores ante el tratamiento de agua como al producto fueron los mismos, siendo en ambos un valor del 67%, clasificado como un suelo estable. No presentando significancia, como queda representado en la gráfica

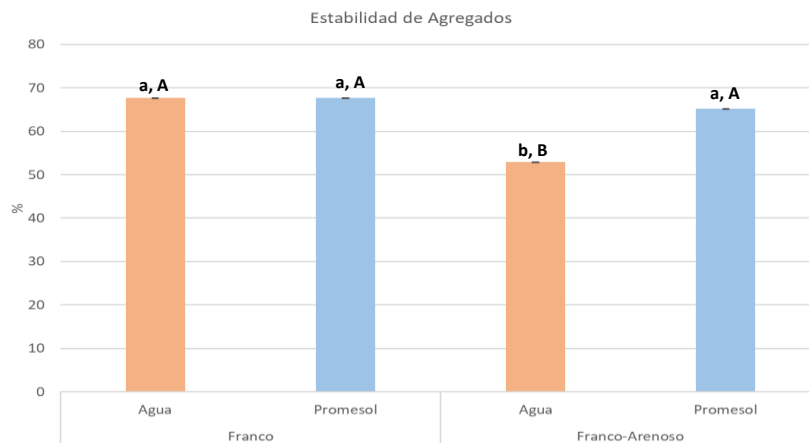


Figura 17 Gráfica de valores obtenidos de estabilidad de agregados en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento

En la gráfica correspondiente al suelo franco – arenoso, los valores discrepan unos de otros, debido al porcentaje de arenas que posee, ya que las partículas de arena tienen una menor fuerza de cohesión. Los valores del tratamiento de agua tuvieron una media de 52.93%, mientras que los obtenidos con la aplicación del producto fueron de 65.2, siendo una diferencia del 23%, encontrándose una diferencia significativa en el suelo franco – arenoso, dado los bajos valores de MO y nitrógeno que poseía este suelo.

Donde se apreció una mayor significancia fue en el tratamiento de solo agua en un suelo franco – arenoso, respecto a tratamientos dentro del suelo y en comparativa con el otro. Este valor tan bajo respecto a los demás se debió a que el suelo de mezcla tiene una composición de un 60% de arenas, teniendo por ello baja agregación.

El uso de un mejorador formulado con base de cascarillas promueve la estabilidad de los agregados, haciendo que estos actúen como quelatos con las partículas del suelo, según expuso Abascal Ponciano (2018) al obtener un incremento en la estabilidad de agregados en el ensayo de los frijoles, mejorando con ello la estructura de ambos suelos. En el caso del ensayo actual, como

se ha comprobado, la mejoría con el producto se ha observado solo en el suelo con mayor presencia de arenas.

En el gráfico de interacciones (Figura 18), se comprueba como a nivel de suelo franco no se produce variación, pero en suelo franco – arenoso, la aplicación de Promesol mejoró estadísticamente la formación de agregados, incrementando los valores a medida que pasó el experimento, ya que los valores más bajo se dieron al comienzo del ensayo y fueron aumentando con el tiempo, a medida que el producto fue haciendo efecto, cumpliendo con ello uno de los objetivos que propone el Promesol sobre mejorar la estabilidad de agregado de los suelos.

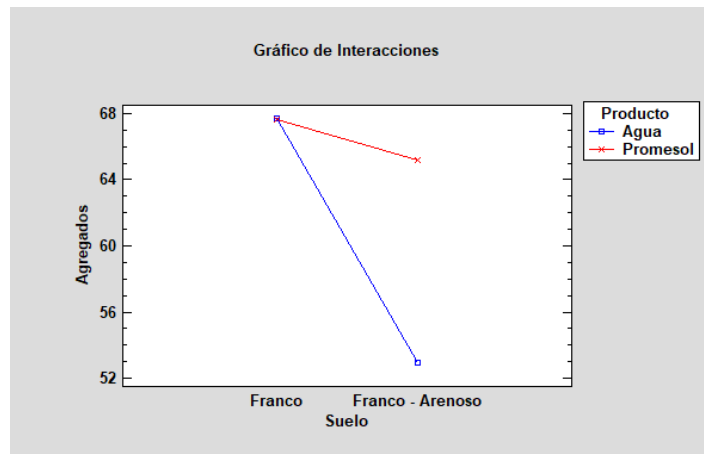


Figura 18 Gráfico de interacciones respecto a la estabilidad de agregados. Fuente: Statgraphics 19

Con estos datos, se confirma como en suelos arenosos, donde la agregación es baja, el uso del acondicionador de suelo aumenta la estabilidad de agregados con creces, gracias a su composición con cascarillas agrícolas, consiguiendo atraer las partículas del suelo para formar agregados, disminuyendo a su vez la compactación de los suelos.

4.2.- FENOLOGÍA Y MORFOLOGÍA DE LAS PLANTAS

Una vez comentados los parámetros edáficos, se procede a analizar los resultados obtenidos en la fenología. Si bien, en el apartado de metodología, se mencionó una serie de variables fenológicas y morfológicas, que se tuvieron en cuenta a lo largo de todo el ensayo. Al ser muchas variables las visualizadas, para los resultados se han tenido en cuenta aquellas que muestran resultados destacables. Para conocer las variables de todos los parámetros fenológicos estudiados véase *Anejo 3.- Valores de los parámetros fenológicos*, en este apartado se hallan los datos recogidos sobre número de botones florales, longitud del tallo y su peso, así como el peso fresco y seco de los frutos recogidos.

A modo aclarativo, en muchos de los parámetros a evaluar, no se ha tenido en cuenta la significancia que se daba respecto al día de corte, debido a que al tratarse de variables que van modificándose y cambiándose, de un corte a otro se producen cambios significativos, como se da en el número de hojas, flores abiertas y en la humedad de la raíz.

En primer lugar, se va a analizar el número de hojas en las plantas. Con este parámetro se puede comprobar cómo está respondiendo la planta a su entorno. Al no haber diferencias significativas entre los tratamientos en cada suelo, solo un leve crecimiento de un 4.49% en el número de hojas presente en tratamiento de Promesol en suelo franco arenoso frente a solo agua, se procede a analizar de manera directa como es la interacción de las hojas a lo largo del tiempo respecto a tratamiento en los suelos.

Se presenta la gràfica (Figura 19) comparativa sobre la diferencia existente entre el número de hojas que se tenía en cada suelo. Como se aprecia, la diferencia entre parámetros es significativa, la cantidad de hojas que se obtuvo en un suelo franco es un 8% menor que en un suelo franco – arenoso.

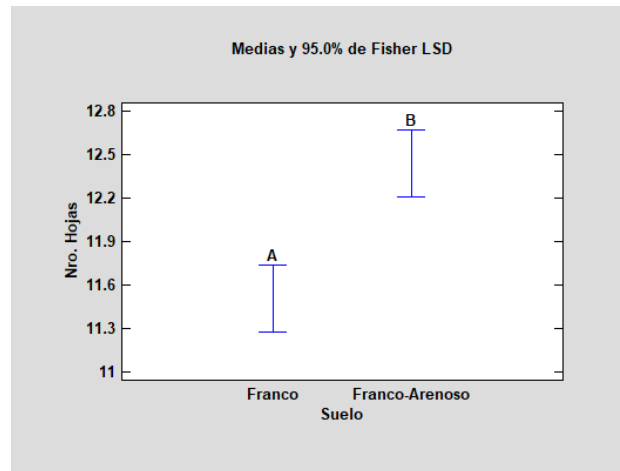


Figura 19. Gràfica comparativa del número de hojas en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19

Analizando ahora el gráfico de interacciones (Figura 20), se observa que las líneas no son paralelas, indicando la existencia de una doble interacción suelo-tratamiento. En este caso se da con el suelo franco ante ambos tratamientos, no existiendo diferencias entre el número de hojas. En cambio, como se mencionaba anteriormente, con el tiempo, se pudo ver como el uso del mejorador consiguió incrementar el número de folíolos en las plantas. Además, se observa en la figura 20 como en el suelo con mayor concentración de arena, la acción del Promesol permitió que se desarrolle más número de hojas que en los casos regados por agua.

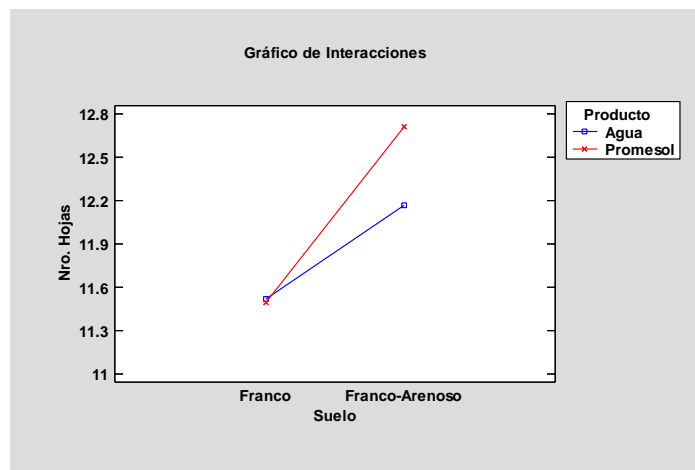


Figura 20 Gráfico de interacciones respecto al número de hojas. Fuente: Statgraphics 19

Una vez visto el número de hojas, sigue el peso de estas, debido a que ambos parámetros van unidos entre sí. Una planta puede tener un menor desarrollo de hojas, pero las que tienen pueden tener una gran superficie; en el caso contrario, una planta puede tener un mayor número de hojas, pero que la superficie de estas sea mucho menor. En este punto se va a evaluar si se continúa con la hipótesis de que el producto beneficia más, en cuanto a fenología, a suelos franco - arenosos, así como en general la respuesta de las plantas a este tipo de suelo.

La primera gràfica (Figura 21) analiza de manera independente cada suelo y su tratamiento. En un suelo franco, se recuerda que el número de hojas no se veía afectado ante los diferentes tratamientos, siendo mayor el peso en fresco de las hojas con tratamiento de agua que de Promesol, siendo la diferencia de un 9%. Dentro de este suelo no se muestran diferencias significativas.

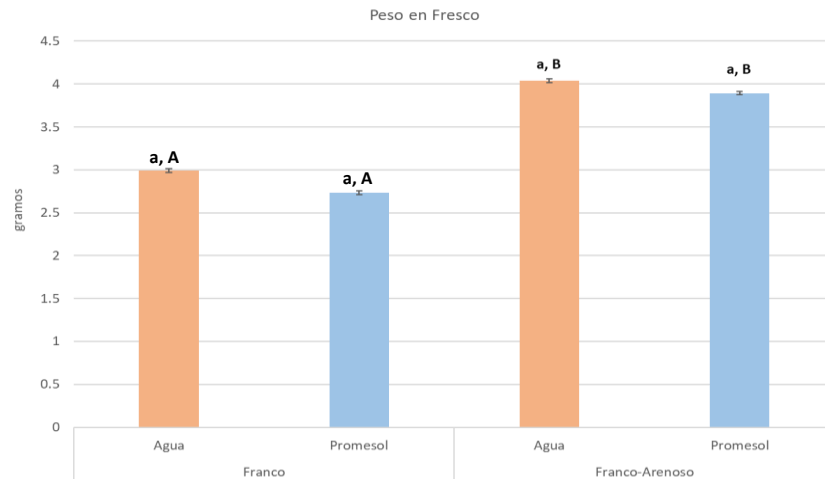


Figura 21 Gráfica de valores obtenidos de peso de las hojas en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento

Si se analiza el suelo con arena, la diferencia de peso de las hojas entre los tratamientos es pequeña (4%), no habiendo significancia, siendo de menor peso en las hojas con tratamiento de Promesol. Como se indicaba en el número de hojas, en el suelo de este tipo y con aplicación del producto, era mayor. Comparando ambos resultados, se puede comprobar como las hojas presentes en plantas regadas únicamente con agua, fueron menor, pero con una superficie mayor que las hojas con tratamiento que presentan más cantidad, pero más pequeñas. El factor del tamaño y cantidad de hojas es un factor que indica la capacidad de la propia planta para realizar la fotosíntesis.

Por ello, sabiendo que en el caso del suelo franco - arenoso, el tratamiento de solo agua tuvo un menor número de hojas, pero un mayor peso y viceversa con tratamiento con producto, no aporta información sobre el desarrollo a lo largo del tiempo de la planta. En cambio, en el suelo franco, se ha comprobado que el uso del mejorador disminuyó el peso fresco de las hojas, asociándolo a una reducción en la superficie foliar.

Siguiendo con el estudio, se muestra la gráfica de interacción (Figura 22) donde se refleja la diferencia existente en el peso fresco entre ambos tipos de suelo con los distintos tratamientos a lo largo del tiempo, respecto a los días de corte. Se ha decidido usar en este caso el gráfico donde se estudia producto y día de corte debido a que a medida que la planta es más grande, las hojas al tener más superficie poseen un peso mayor.

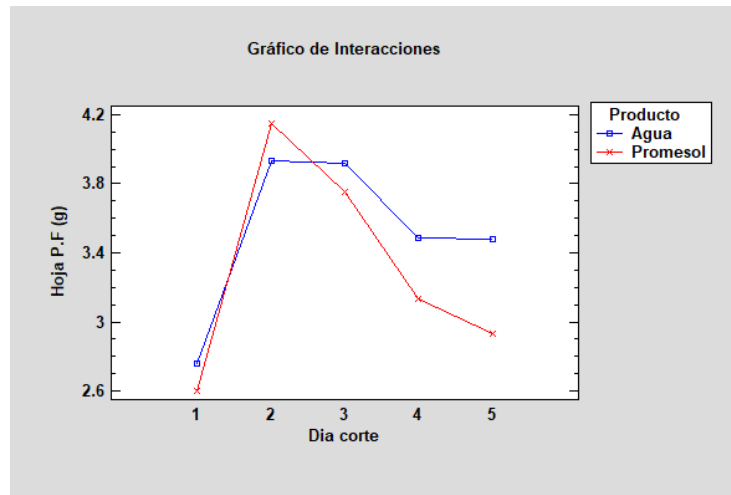


Figura 22 Gráfico de interacciones respecto al peso fresco de las hojas. Fuente: Statgraphics 19

Como se aprecia, el peso de las hojas fue mayor en ambos casos con el tratamiento de únicamente agua, y por debajo el peso con el Promesol. La única excepción es la dada en el día 2 debido a que, si se ve el cronograma ubicado en anejos, se puede comprobar como el día de antes se realizó un riego, y el producto ayuda a la retención del agua. Respecto al suelo, como se ha ido comentando a lo largo del presente punto, en lo que a fenología respecta, las plantas responden mejor ante un suelo franco – arenoso, de ahí la diferencia significativa entre los suelos en lo que a peso de hojas respecta.

Los siguientes parámetros a analizar son los correspondientes a flores y frutos. Si bien, anteriormente se comentó que la importancia de saber la cantidad de botones, así como flores que poseía la flor, y que posteriormente se convertirían en fruto. Por ello, en este punto, se va a analizar la cantidad de flores abiertas y muertas que se obtuvieron durante la duración del ensayo en invernadero, para posteriormente comprobar el número de frutos que se produjeron, visualizando así si se encuentra una mejora en la producción, o no.

En primer lugar, se analizan las flores abiertas, con esto se espera que se sepa de manera aproximada la cantidad de frutos que se pueden obtener. En los resultados obtenidos sobre la media de flores abiertas, se apreció como en el suelo franco – arenoso, las diferencias entre ambos tratamientos son mínimas, no existiendo significancia. Sin embargo, al comparar el número de flores en el suelo franco, si se mostró diferencia significativa, la desigualdad obtenida entre ambos tratamientos son mucho mayores, 71%, alcanzándose un mayor número de flores abiertas a lo largo del ensayo en el tratamiento de únicamente agua.

Al igual que con hojas, si se comparan ambos suelos (véase Figura 23), se comprueba que un suelo franco – arenoso, produjo un mayor desarrollo floral que en un suelo franco, la siendo la diferencia de un 31%, sin llegar a ser significativo. Esto pudo deberse al suelo, debido a que otros factores como pueden ser el riego y la temperatura han sido el mismo para todas las plantas.

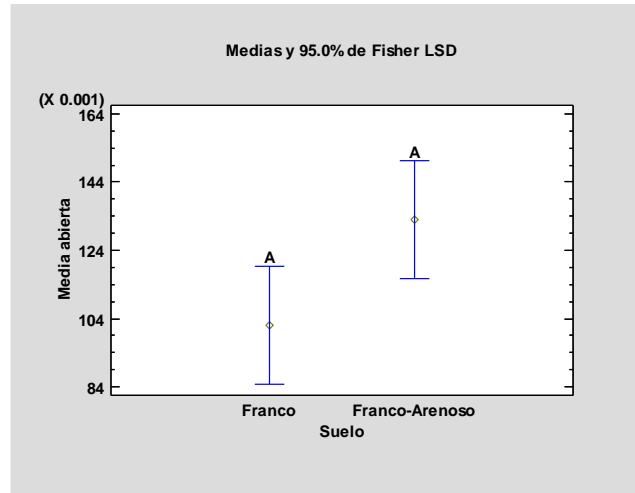


Figura 23. Gráfica comparativa del número de flores abiertas en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19

Seguido, se analizan las flores muertas. De las flores abiertas, se sacó en conclusión que en el suelo franco – arenoso, entre tratamientos no hubo diferencias, al contrario que pasaba en el suelo franco. En este caso, con las flores muertas (Figura 24), las diferencias apreciadas en el suelo franco entre tratamientos fueron de un 39%, siendo mayor en el tratamiento de agua, algo lógico debido a que fue donde mayor número de flores abiertas se produjo. En el suelo franco – arenoso, donde apenas hubo diferencia en el parámetro anterior, en flores muertas se obtiene que el número obtenido en el Promesol es 6 veces mayor que en el agua. No obstante, en ninguno de los suelos se obtuvieron diferencias significativas.

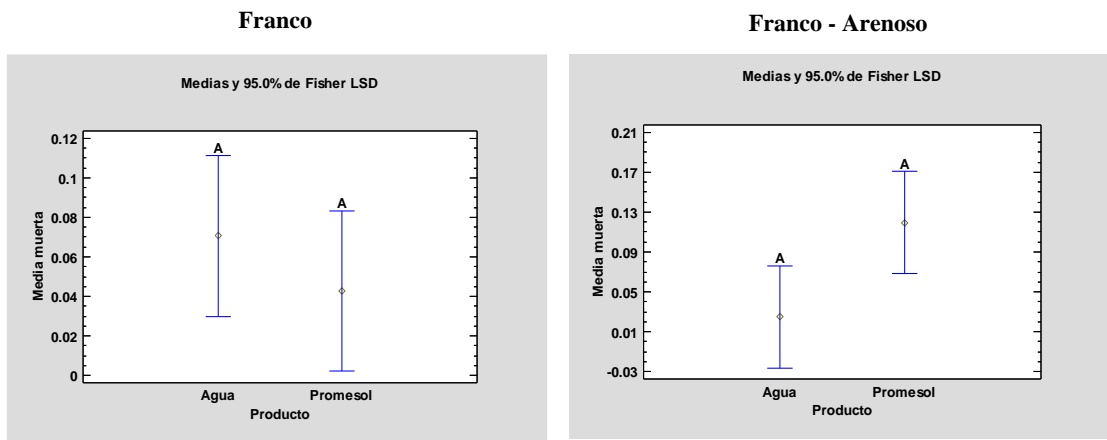


Figura 24 Gráfica de valores obtenidos de número de flores muertas en cada suelo. Fuente: Statgraphics 19

Tras los resultados obtenidos en las flores, se busca conocer los frutos obtenidos en cada caso (Figura 25), observando como la cantidad de frutos en el suelo franco con agua y franco – arenoso con Promesol fue la misma, y siendo en general la producción de fruto en ambos tratamientos en franco – arenoso mayor. Como se aprecia en la gráfica, no existe significancia en lo que a tratamiento y suelo respecta. Donde se muestra una diferencia significativa, respecto al número de frutos es en lo que a día de corte se refiere debido a que como se refleja en *Anejo 3.- Valores de los parámetros fenológicos*, la presencia de frutos se dio a partir del tercer corte.

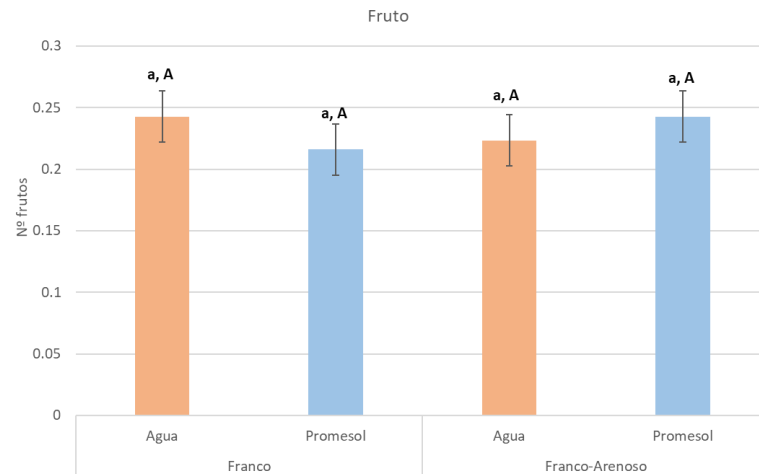


Figura 25 Gráfico de interacciones respecto al número de frutos. Fuente: Statgraphics 19. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento

Con ello, se ve, que en relación con la presencia de flores y desarrollo del fruto, en un suelo franco, el tratamiento con el mejorador no presentó beneficio alguno, siendo mejor el tratamiento con únicamente agua. En cambio, ante un suelo franco – arenoso, el tratamiento con producto hizo que la producción en general fuese mayor que si hubiese sido únicamente riego de agua, mejorando así la presencia de los nutrientes y la disponibilidad de agua.

No obstante, respecto al suelo franco – arenoso, se puede comprobar, como con el producto, la cantidad de flores muertas fue mucho mayor que en cualquiera de los otros casos, sin embargo, cuando se compara eso con la media de fruto, la diferencia entre suelo franco con tratamiento de agua y suelo franco – arenoso con Promesol no es diferente, aun teniendo el primero un menor número de flores muertas. Con este breve análisis, se puede intuir, como a pesar de tener más fruto que con solo agua, muchas de las flores abiertas que se obtuvieron en este tipo de suelo, terminaron siendo abortos florales. Por ello mismo, se comparó el peso de los frutos, comprobando, que la media del peso en los pimientos de un suelo franco – arenoso con aplicación del producto fue un 72% más pesados que los obtenidos en suelo franco con riego únicamente de agua.

La relación que se puede obtener de estos tres últimos parámetros es que el suelo franco arenoso, abortó muchas de las flores que produjo, para destinar una mayor cantidad de nutrientes a las flores que pueden convertirse en fruto, obteniendo así una menor producción en cantidad pero con un calibre mayor, todo lo contrario a lo obtenido en el suelo franco con tratamiento de agua, que se obtuvo una mayor cantidad, pero de un calibre mucho menor, para ello, puede verse el Anejo 5.- Frutos, donde se muestran una serie de imágenes sobre los frutos obtenidos en cada suelo.

El último parámetro del cultivo a valorar es el correspondiente a la parte radicular. En primer lugar, se estudió la longitud radicular obtenida en cada tratamiento (Figura 26), respecto a cada tipo de suelo, las diferencias entre riego con agua o riego con producto no son significativas, existiendo una leve diferencia a favor del tratamiento con agua, en suelo franco con un 1% y en suelo franco – arenoso de un 2%. Con estos resultados, se aprecia, como el objetivo que propone el mejorador del suelo usado de favorecer el desarrollo radicular, no se aplicó en este caso, esto puede deberse a diversos factores, uno de los que se plantean es que al tener el suelo aplicado un mejorador, la disponibilidad de nutrientes es más accesible, por ello, la raíz no requiere de un mayor desarrollo para buscar los nutrientes.

Luego, se realizó una comparativa entre suelos, comprobando, como en los suelos franco – arenosos, al tener una textura más suelta y granulada, no está tan cohesionado, las raíces tienen una mayor facilidad de desarrollo, sin embargo, el que se hayan desarrollado en longitud un 9% más que las raíces que se encontraban en suelo franco, pudo deberse a su baja retención de agua, obligando a las raíces a buscar el agua. En esta variable, en el suelo es donde se muestra la diferencia significativa, como se visualiza en la gráfica. En cambio, en el suelo franco, al ser más compacto y no tan suelto, tiene una mejor capacidad de retención del agua, no requiriendo que las raíces se desarrollen en exceso para buscar el agua.

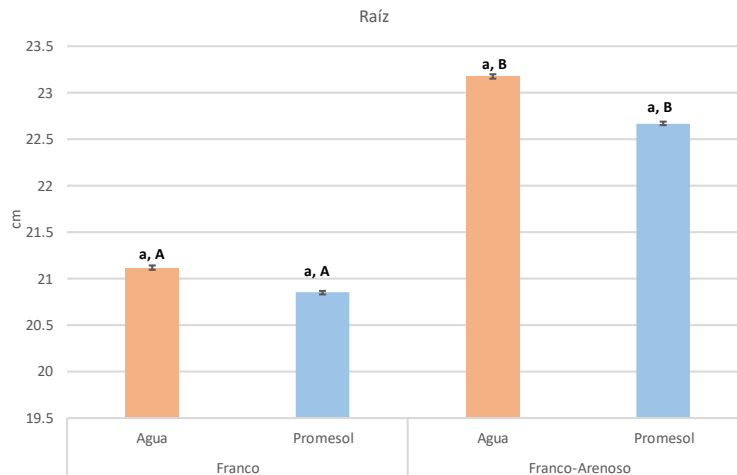


Figura 26 Gráfica comparativa del tamaño de la raíz en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento

Finalmente, se puede visualizar en el gráfico de interacciones (Figura 27) como fue evolucionando el crecimiento radicular con el paso de los cortes, estando al principio con una mayor longitud aquellas con aplicación del producto, pero con el paso del tiempo las que poseen riego únicamente de agua fueron ganando en tamaño (véase Anejo 7.- Comparativa de raíces en tratamientos). El punto de interacción que se da en el quinto corte se debe a que se aplicó el producto dos días antes del corte. Estos mismos resultados se observaron en el ensayo de *Guamani Quilapanta*, (2022) donde en los primeros 15 días observo un óptimo crecimiento radicular de las tomateras con Promesol, pero al cabo de un mes, el crecimiento se ralentizó.

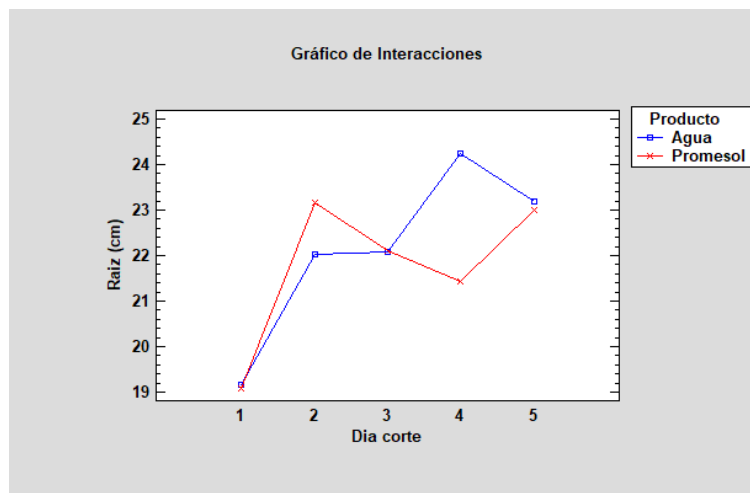


Figura 27 Gráfico de interacciones respecto a la longitud de la raíz. Fuente: Statgraphics 19

En tratamiento con únicamente agua se consiguió que la zona radicular tenga un mayor desarrollo, al contrario que lo que promete el producto, pero como se mencionaba anteriormente, esto pudo deberse a diversos factores, ya que pudieron tener más accesibles los nutrientes en el suelo y no requerir de un mayor desarrollo radicular. Por otro lado, en lo que a suelos se refiere, la diferencia dada en la longitud de la raíz pudo deberse a la propia estructura de cada suelo.

Estos resultados sí se comparan con los obtenidos por Abascal Ponciano (2018) en su experimento, donde en las plantas con el acondicionador mostraron una mayor longitud radicular frente a las testigos, sin hacer distinciones entre suelos. En cambio, en el experimento con pimientos, se comprobó como el producto no ha beneficiado en el desarrollo radicular (véase *Anejo 6.- Longitud radicular*) si no, que ha estado influido más por el tipo de suelo.

No obstante, se quiere aclarar, que este parámetro, ofrece unos valores aproximados sobre cómo afecta el tipo de tratamiento y el suelo a usar en el desarrollo de las raíces, debido a lo comentado en el apartado 3.1.- *Diseño experimental*, las raíces se obtuvieron mediante una separación manual del suelo y la raíz, conllevando en algunos casos a la rotura de la raíz más larga, no siendo el tamaño obtenido el original.

A continuación, se procede a analizar la humedad obtenida en las raíces. El saber la humedad ayuda a tener un conocimiento sobre el equilibrio hídrico del suelo, así como si se está haciendo un buen uso de este recurso, evitando así tener problemas en el rendimiento y por ello en la productividad.

Como en todos los parámetros, se plantea en primer lugar la gráfica correspondiente a cada tratamiento en su respectivo suelo (Figura 28). Analizando el suelo franco, se puede apreciar cómo hay una diferencia significativa entre la humedad de las raíces ante cada tratamiento, siendo en el de agua un rango de 3.9 a 5.1% de humedad, en cambio, el tratamiento con Promesol tiene unos valores de 3.1 a 4%, siendo esta una diferencia del 12%. Si se mira el suelo franco – arenoso, pasa lo mismo, se muestra una diferencia significativa, la humedad alcanzada en las raíces es mayor en el tratamiento de solo agua que con el producto, siendo la diferencia entre ambos menor, de un 9%.

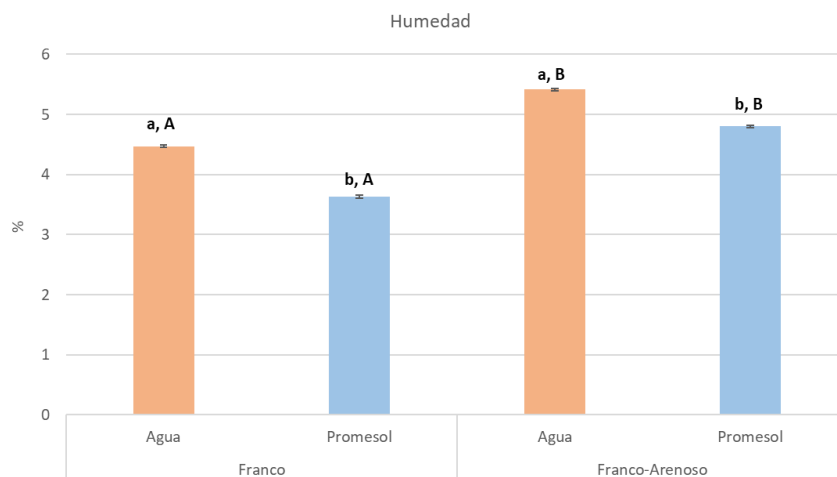


Figura 28 Gráfica de valores obtenidos de humedad en la raíz en cada suelo. Las letras minúsculas son relacionadas con la significancia dentro de un mismo suelo; las letras mayúsculas son la comparativa entre el mismo tratamiento

Seguido, se muestra el gráfico de interacciones (Figura 29), se comprueba como en ambos tipos de suelo, el riego con agua tiene unos valores superiores que el producto. A pesar de ello, como se muestra, la humedad en relación con los tipos de suelo fue mayor en el suelo franco – arenoso, siendo una diferencia estadísticamente significativa, mostrando que un suelo con arenas requiere de una mayor humedad en el sistema radicular para desarrollarse.

Si la duración del ensayo hubiese sido mayor, se podría apreciar de una mayor forma la interacción que se efectuaría entre ambos tratamientos a la altura del suelo franco – arenoso, debido a que la diferencia dada en este era menor, pudiendo tener una humedad muy similar con el tiempo y una mayor aplicación de producto.

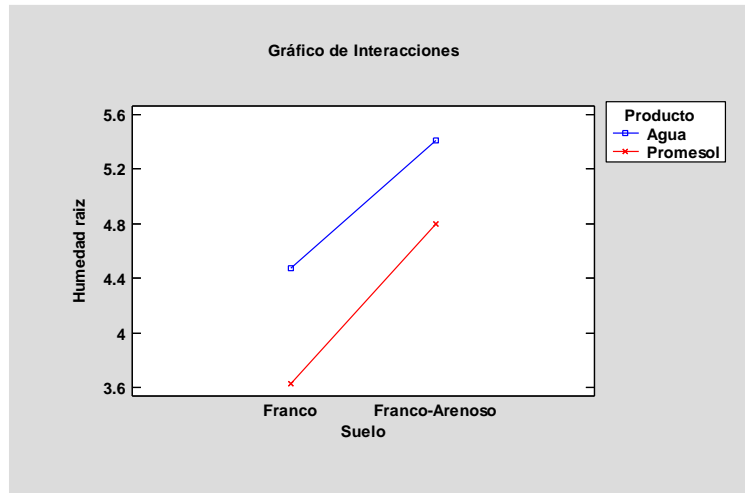


Figura 29 Gráfico de interacciones respecto a la humedad de la raíz. Fuente: Statgraphics 19

Al tratarse de un acondicionador de suelo que mejora la estructura de este, permitiendo una mayor disponibilidad de nutrientes, obteniendo unas condiciones más favorables ante la retención de agua y la disponibilidad de esta, se espera que los niveles de humedad en las raíces sean mayores. No obstante, lo que ocurre es lo contrario, las plantas con aplicación del mejorador presentaron unos valores de humedad inferiores, a lo que según la teoría sobre el producto tendría que pasar.

Según el ensayo sobre el efecto de la labranza y los mejoradores de suelo en la humedad radicular Demuner – Molina *et al* (2014) no obtuvieron beneficios en la humedad de las raíces que contaban con el mejorador, al igual que en el experimento presente. No obstante, según indican el estudio sobre las propiedades físicas del suelo y la humedad de Querejata *et al.* (2000) se señala que los resultados positivos sobre el uso de mejoradores orgánicos en relación con la retención de humedad se observan en un periodo de tiempo mayor a cuatro años tras su aplicación.

3.- CONCLUSIONES

Como se menciona en los objetivos, el fin principal del ensayo es comprobar si el Promesol 5x modifica las propiedades de los suelos y el desarrollo de las plantas de pimiento. Con ello hay que aclarar, que el ensayo tuvo una duración de dos meses, siendo un tiempo reducido para mostrar grandes diferencias en las propiedades edafológicas.

Según los resultados obtenidos en los parámetros edafológicos, se ha comprobado como en el lapsus de dos meses, algunas propiedades del suelo se han visto modificadas. En general, se ha visto beneficiado con la aplicación del Promesol el suelo franco. La CE y el pH, se han visto reducidos respecto a su punto inicial, originando un incremento en la presencia de nitrógeno, actividad enzimática y materia orgánica. En cambio, en el suelo franco – arenoso, los únicos parámetros que se han modificado para bien es la presencia de materia orgánica, incrementándose gracias a la composición del acondicionador, y la estabilidad de agregados, cumpliéndose con uno de los objetivos que promete el producto.

En lo que a parámetros fenológicos y morfológicos respecta, el suelo que más desarrollo vegetativo ha obtenido ha sido el franco – arenoso. En relación sobre si se ha apreciado un crecimiento mayor con el uso del producto, se ha comprobado que en los parámetros fenológicos, como número de hojas, flores abiertas y muertas, y número de frutos, si ha resultado favorecido, sobre todo en suelo franco; en la humedad de las raíces, en cambio, es el único que tiene unos valores superiores en únicamente agua. No obstante, como se menciona en los resultados, este último parámetro requiere de un tiempo de actuación mucho mayor a la llevada en el proyecto para mostrar cambios favorables.

Por el contrario, en los parámetros morfológicos, como peso de las hojas y longitud de raíz, se han obtenido mejores resultados en el tratamiento con agua, solo se mejora el peso del fruto con la presencia de Promesol. Con ello, se puede concluir que en lo que a fenología y morfología del cultivo se refiere, un suelo con mayor porcentaje de arenas sale más beneficiado. Si se realiza la aplicación del acondicionador se incrementan los valores fenológicos y únicamente el calibre del fruto, en lo morfológico, siendo importante este último en cuando a producción del fruto

Sin embargo, el poco tiempo de duración de la experiencia, invita a desarrollar una con mucha más duración, con el objetivo de afianzar esas tendencias que se esbozan en las gráficas y que posiblemente mejoren la estructura y por consiguiente las propiedades físico-químicas del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abascal Ponciano, G. A. (2018). Efecto de los ácidos carboxílicos como acondicionador de suelo Promesol® 5X y bioestimulante radicular Nutrisorb® L y micorriza Mycoral R en el suelo y la variedad de frijol Amadeus 77 [Escuela Agrícola Panamericana]. https://doi.org/10.1300/j064v01n02_04
- AppliChem, P. (2018). Determinación de Nitrógeno por el Método Kjeldahl. https://www.itwreagents.com/uploads/20180122/A173_ES.pdf
- Benavides-Mendoza, A. (2010). Bioestimulantes agrícolas: importancia y definición.
- Blanco Sandoval, J. O. (2006). Acondicionadores y Mejoradores del suelo.
- Bulege, W. (2013). Crecimiento demográfico y cambio climático. Apuntes de ciencia & sociedad, 03(01), 4-5. <https://doi.org/10.18259/acs.2013001>
- Burbano Orjuela, H. (2010). El suelo al servicio de la sociedad y su rol en el contexto de los cambios globales. Tendencias, 11(2), 53-62.
- Cerón Rincón, L. E., & Ancízar Aristizábal Gutiérrez, F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. Revista colombiana de biotecnología, 14(1), 285-295. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-34752012000100026&script=sci_arttext
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. Gaceta Ecológica , 83, 5-71.
- Crespo, C. (2019, junio 7). La urea: características, ventajas y desventajas de esta fuente nitrogenada. Portal Frutícola. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/06/07/la-urea-caracteristicas-ventajas-y-desventajas-de-esta-fuente-nitrogenada/>
- De agricultura, D. (1999). Guía para la evaluación de la Calidad y salud del suelo. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
- Foro de Alto Nivel de expertos (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. FAO. https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf
- Centro internacional de mejoramiento. (2016). Estabilidad de los agregados del suelo tamizando en húmedo. Guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo.
- Agencia Estatal (s. f.). BOE. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/>
- Demuner-Molina, G., Cadena-Zapata, M., Campos-Magaña, S. G., Zermeno-González, A., & Sánchez-Pérez, F. de J. (2014). Efecto de labranza y mejoradores de suelo en humedad y desarrollo radicular. Tecnología y ciencias del agua, 123-130.
- Deyanira, L. L., & Mansonia, P. M. (2006). Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. Venesuelos, 14(1), 22-37.
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

- Egene, C. E., Sigurnjak, I., Regelink, I. C., Schoumans, O. F., Adani, F., Michels, E., Sleutel, S., Tack, F. M. G., & Meers, E. (2021). Solid fraction of separated digestate as soil improver: implications for soil fertility and carbon sequestration. *Journal of Soils and Sediments*, 21(2), 678-688. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02792-z>
- El Plan Estratégico de la PAC de España. (s. f.). Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. <https://www.mapa.gob.es/gl/pac/pac-2023-2027/plan-estrategico-pac.aspx>
- FAO with GLOBAL SOIL LABORATORY NETWORK. (2022). Standard operating procedure for cation exchange capacity and exchangeable bases 1N ammonium acetate, pH 7.0 method. Food and agriculture organization of the united nations. <https://www.fao.org/3/cc1200en/cc1200en.pdf>
- Fertilab. (2023). La Capacidad de Intercambio Cationico del Suelo. https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/La_Capacidad_de_Intercambio_Cationico_del_Suelo.pdf
- Gamez, M. J., & Legaz, M. C. G. (2018, junio 5). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Garrido Valero, M. S. (1993). Interpretación de análisis de suelos. Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
- Global, I. (s. f.-a). Promesol 5x. Innovak Global. <https://www.innovakglobal.com/promesol-5x-mexico/>
- Global, I. (s. f.-b). Promesol 5x. Acondicionador de suelos.
- Guamani Quilapanta, L. G. (2022). Efecto de la aplicación de Promesol y ATP-up en la propagación por esquejes de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) variedad Pietro en el cantón Pillaro en la parroquia Emilio María Teran [Facultad de ciencias agropecuarias].
- Henríquez, C., Uribe, L., Valenciano, A., & Nogales, R. (2014). Actividad enzimática del suelo - Deshidrogenasa, β -Glucosidasa, Fosfatasa y Ureasa- bajo diferentes cultivos. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 43-54. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242014000100003&script=sci_arttext
- Hernández, T., Moreno, J. L., & del Campo, P. (2012). Mejora del crecimiento vegetal y de la actividad microbiana del suelo derivada de la adición del consorcio molecular C-MOV.
- Herrero, A. (2022, junio 2). El método Kjeldahl: usos, funcionamiento y equipos. Labbox España. <https://esp.labbox.com/método-kjeldahl/>
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de Su Uso en la agricultura. *Idesia*, 24(1), 49-61. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>
- Lince-Salazar, L. A., Castro, A. F., & Castaño, W. A. (2020). Estabilidad de agregados de suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafe*, 71(2), 73-91. <https://doi.org/10.38141/10778/71206>
- Lopez Choque, M. A. (2020). Validación del método Kjeldahl para la determinación de nitrógeno total en suelos agrícolas del departamento de la paz. Universidad Mayor de San Andrés.
- Luters, A., & Salazar Lea Plaza, J. C. (2000). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Usda. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022->

*10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Cali-
dad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf*

- MAGRAMA (Ed.). (2009). Fertilización nitrogenada. En Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Martín, A. (2021, agosto 4). Interpretación de análisis de suelo. Herogra Fertilizantes. <https://herografertilizantes.com/interpretacion-de-analisis-de-suelo/>
- Mataix-Solera, J., Benito, E., Andreu, V., & Cerdá, A. (2010). ¿Cómo estudiar la estabilidad de agregados en suelos afectados por incendios? Métodos e Interpretación de resultados. En Libro Incendios II (pp. 85-144). Càtedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de València.
- Meloni, D. A., Silva, D. M., & Bolzón, G. (2015). Efectos de la adición de calcio sobre la fisiología de plántulas de vinal (*Prosopis ruscifolia* G.) bajo estrés salino. *Quebracho*, 23(1), 8-9.
- Morán, M. (2016, febrero 16). La Agenda para el Desarrollo Sostenible. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Morón, C., Zacarías, I., & Saturnino, de P. (1997). Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. <https://www.fao.org/3/ah833s/AH833S00.htm>
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. Laboratorio de suelos. <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- Piña-Ramírez, F. J., Soto-Parra, J. M., García-Muñoz, S. A., Leyva-Chávez Arwell, N., Ortega-Rodríguez, A., & Ojeda-Barrios, D. L. (2020). Vista de Uso de Promesol Calcio en suelo salino para la germinación de semillas de tomate en condiciones de invernadero. *Biológico Agropecuario Tuxpan*, 7.
- Portal de Suelos de la FAO. (s. f.). Fao.org. <https://www.fao.org/soils-portal/es/>
- R. Casas, R. (2001). La Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas.
- Ramírez, N. (1998). Aspecto morfológicos y funcionales relacionados con los niveles de óvulos abortados, flores-frutos abortados y eficiencia reproductiva en angiosperma.
- Reuter, H. I., Lado, L. R., Hengl, T., & Montanarella, L. (2008). Continental-scale digital soil mapping using European soil profile data: Soil ph. Europa.eu. https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/dataset/10_soil_ph/soil_ph_in_europe_hbpl19_10.pdf
- Rodríguez, O. R., & Galíndez, A. A. S. (2011). Capacidad de extracción de cationes mediante acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. *Interciencia*. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/219-c-RODRIGUEZ-5.pdf>
- Safety, F. (2023). La ley de modernización de la inocuidad de los alimentos. Penn State Extension, 2.

- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal El significado de la porosidad del suelo. Servicio de Manejo de las Tierras y de la Nutrición de Plantas. <https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm>
- Sierra Bernal, C. (2010). La urea: características, ventajas y desventajas de esta fuente nitrogenada.
- Suárez de Castro, F. (1979). Conservación de suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Toledo, R. L., Viciado, D. O., Mora, D. S., Cuellar, L. M., Valencia, E. R., Pérez, M. F. M., & Flórez, M. F. (2017). Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos. Paramericana.
- United Nations. (2022). Día Mundial del Suelo | Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/observances/world-soil-day>
- Villarroel, J. (1988). Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. Universidad Mayor de San Simon AGRUCO.
- Zotarelli, L., Dukes, M. D., & Morgan, K. T. (2013). Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. EDIS, 2013(2). <https://doi.org/10.32473/edis-ae496-2013>

ANEJO

CONTENIDO

1.- CRONOGRAMA	2
2.- VALORES DE LOS PARAMETROS EDÁFICOS.....	3
3.- VALORES DE LOS PARAMETROS FENOLÓGICOS	6
4.- EVOLUCIÓN DE LAS PLANTAS	9
5.- FRUTOS	11
6.- LONGITUD RADICULAR	12
7.- COMPARATIVA DE RAICES	18

1.- CRONOGRAMA

2023

Marzo						
Lu.	Ma.	Mi.	Ju.	Vi.	Sá.	Do.
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

Junio						
Lu.	Ma.	Mi.	Ju.	Vi.	Sá.	Do.
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

Abril						
Lu.	Ma.	Mi.	Ju.	Vi.	Sá.	Do.
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

Julio						
Lu.	Ma.	Mi.	Ju.	Vi.	Sá.	Do.
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

Mayo						
Lu.	Ma.	Mi.	Ju.	Vi.	Sá.	Do.
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

	Fenología
	Riego
	Corte
	Analíticas laboratorio
	Aplicación Promesol 5x
	Trasplante de las plantas a maceta

2.- VALORES DE LOS PARAMETROS EDÁFICOS

Ref. Lab	Numero	Repetición	Producto	Suelo	Dia corte	CE (dS/m)	pH	Nitrógeno	Ureasa	M.O	CC (%)	Agregados	C.I.C
13416	1	1.1	Promesol	Franco	1	0.444	8.33	0.038	0.004	1.077	12.466	58	6.32
13417	2	1.2	Promesol	Franco	1	0.357	8.36	0.041	0.011	1.106	11.641	50	6.72
13419	3	1.3	Promesol	Franco	1	0.344	8.36	0.076	0.001	1.221	12.872	57	5.72
13431	4	2.1	Promesol	Franco	2	0.507	8.35	0.015	0.002	1.249	10.028	75	5.88
13437	5	2.2	Promesol	Franco	2	0.583	8.4	0.037	0.007	1.117	11.076	62	5.76
13424	6	2.3	Promesol	Franco	2	0.45	8.32	0.036	0.005	1.292	13.665	44	6.52
13585	7	3.1	Promesol	Franco	3	0.545	7.88	0.083	0.018	0.871	10.108	67	7.56
13580	8	3.2	Promesol	Franco	3	0.444	8.01	0.032	0.041	1.209	8.992	68	8.2
13582	9	3.3	Promesol	Franco	3	0.385	7.98	0.030	0.024	0.765	14.200	75	4.08
13654	10	4.1	Promesol	Franco	4	0.537	8.64	0.013	0.017	1.041	13.761	78	4.2
13651	11	4.2	Promesol	Franco	4	0.734	8.77	0.027	0.010	0.942	14.636	80	5.32
13644	12	4.3	Promesol	Franco	4	0.5	8.55	0.012	0.014	0.951	14.429	63	4.76
13915	13	5.1	Promesol	Franco	5	0.499	8.24	0.016	0.007	0.869	18.636	79	6.36
13914	14	5.2	Promesol	Franco	5	0.566	8.25	0.016	0.009	1.016	18.102	77	7.2
13907	15	5.3	Promesol	Franco	5	0.593	8.51	0.016	0.012	0.899	14.987	82	5.68
13418	16	1.1	Agua	Franco	1	0.457	8.32	0.003	0.004	1.153	16.751	61	7.12
13420	17	1.2	Agua	Franco	1	0.548	8.3	0.003	0.011	1.223	13.702	60	12.12
13421	18	1.3	Agua	Franco	1	0.642	8.28	0.027	0.008	1.239	14.130	65	10.04
13438	19	2.1	Agua	Franco	2	0.391	8.4	0.028	0.006	1.142	11.154	70	12.96
13433	20	2.2	Agua	Franco	2	0.411	8.53	0.018	0.004	1.152	10.263	69	6.16
13422	21	2.3	Agua	Franco	2	0.672	8.26	0.028	0.003	1.254	12.871	61	6.92

Ref. Lab	Numero	Repetición	Producto	Suelo	Dia corte	CE (dS/m)	pH	Nitrógeno	Ureasa	M.O	CC (%)	Agregados	C.I.C
13584	22	3.1	Agua	Franco	3	0.504	7.94	0.028	0.017	0.789	9.507	69	6.12
13583	23	3.2	Agua	Franco	3	0.495	7.9	0.022	0.023	0.781	8.844	70	14.32
13590	24	3.3	Agua	Franco	3	0.577	7.96	0.079	0.021	1.127	11.065	72	14.84
13653	25	4.1	Agua	Franco	4	0.46	8.73	0.009	0.011	0.989	16.701	73	7.88
13652	26	4.2	Agua	Franco	4	0.757	8.63	0.011	0.007	0.931	15.568	70	13.68
13645	27	4.3	Agua	Franco	4	0.479	8.59	0.033	0.007	0.864	16.660	56	8.2
13908	28	5.1	Agua	Franco	5	0.522	8.47	0.004	0.015	0.947	15.927	70	11.4
13905	29	5.2	Agua	Franco	5	0.453	8.57	0.015	0.017	0.811	15.859	75	14.68
13906	30	5.3	Agua	Franco	5	0.551	8.58	0.011	0.009	0.886	14.911	75	13.84
13436	31	1.1	Promesol	F-A ¹	1	0.433	8.4	0.017	0.003	0.774	6.080	63	15.24
13435	32	1.2	Promesol	F-A	1	0.7	8.42	0.034	0.009	0.684	5.612	71	9.96
13434	33	1.3	Promesol	F-A	1	0.388	8.33	0.014	0.004	0.680	5.588	76	6.96
13427	34	2.1	Promesol	F-A	2	0.42	8.4	0.018	0.008	0.802	8.337	44	7.72
13423	35	2.2	Promesol	F-A	2	0.472	8.3	0.015	0.007	0.857	9.219	57	10.24
13425	36	2.3	Promesol	F-A	2	0.814	8.31	0.042	0.013	1.003	12.033	48	12.96
13589	37	3.1	Promesol	F-A	3	0.749	8.05	0.061	0.036	0.752	7.438	65	8.268
13588	38	3.2	Promesol	F-A	3	0.563	8.04	0.050	0.046	0.774	8.549	73	14.52
13579	39	3.3	Promesol	F-A	3	0.529	7.97	0.029	0.019	0.780	6.248	71	11.16
13649	40	4.1	Promesol	F-A	4	0.53	8.81	0.025	0.008	0.661	12.394	59	7.6
13650	41	4.2	Promesol	F-A	4	0.392	8.83	0.004	0.009	0.629	12.626	77	6.48
13647	42	4.3	Promesol	F-A	4	0.484	8.74	0.006	0.007	0.676	11.398	67	7.428
13910	43	5.1	Promesol	F-A	5	0.49	8.63	0.004	0.013	0.414	10.343	64	7.28
13911	44	5.2	Promesol	F-A	5	0.563	8.59	0.015	0.009	0.465	10.407	69	7.24

¹ F-A : Franco - Arenoso

Ref. Lab	Numero	Repetición	Producto	Suelo	Dia corte	CE (dS/m)	pH	Nitrógeno	Ureasa	M.O	CC (%)	Agregados	C.I.C
13913	45	5.3	Promesol	F-A	5	0.659	8.33	0.012	0.031	0.656	15.946	74	10.48
13429	46	1.1	Agua	F-A	1	0.466	8.44	0.015	0.001	0.763	6.350	39	9.8
13415	47	1.2	Agua	F-A	1	0.6	8.26	0.031	0.011	0.840	9.731	46	10.88
13430	48	1.3	Agua	F-A	1	0.478	8.42	0.023	0.013	0.777	6.888	62	11.48
13432	49	2.1	Agua	F-A	2	0.606	8.44	0.032	0.006	0.946	8.834	61	8.708
13426	50	2.2	Agua	F-A	2	0.451	8.38	0.046	0.011	0.794	8.938	47	12.84
13428	51	2.3	Agua	F-A	2	0.435	8.42	0.025	0.016	0.852	7.431	47	11.32
13586	52	3.1	Agua	F-A	3	0.406	7.94	0.092	0.074	0.634	6.901	69	13.84
13581	53	3.2	Agua	F-A	3	0.35	8.05	0.012	0.032	0.367	6.909	69	7.36
13587	54	3.3	Agua	F-A	3	0.443	8.02	0.040	0.021	0.547	7.658	52	6.24
13646	55	4.1	Agua	F-A	4	0.578	8.71	0.007	0.006	0.666	14.607	64	6.16
13643	56	4.2	Agua	F-A	4	0.558	8.65	0.021	0.007	0.641	12.808	49	6.68
13648	57	4.3	Agua	F-A	4	0.55	8.73	0.003	0.007	0.508	9.300	59	7.88
13909	58	5.1	Agua	F-A	5	0.557	8.55	0.015	0.011	0.530	11.081	44	13.12
13912	59	5.2	Agua	F-A	5	0.566	8.57	0.014	0.013	0.656	14.889	56	12.16
13904	60	5.3	Agua	F-A	5	0.43	8.46	0.009	0.007	0.372	11.278	30	13.12

3.- VALORES DE LOS PARAMETROS FENOLÓGICOS

Nº	Suelo	hojas	Hoja P.F (g)	Hoja P.S (g)	Prom. Tallo	Tallo P.F (g)	Tallo P.S (g)	Media botón	Media abierta	Media muerta	Media Fruto	Fruto P.F (g)	Fruto P.S (g)	Raíz (cm)	Raíz P.F (g)	Raíz P.S (g)	Humedad raíz
1	Franco	11.000	2.100	0.223	13.500	1.160	0.146	2.333	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	17.500	1.268	0.348	0.920
2	Franco	11.667	2.690	0.286	12.000	1.330	0.172	2.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	18.800	3.402	0.669	2.734
3	Franco	10.667	2.550	0.256	10.417	1.030	0.131	1.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	23.400	4.170	0.963	3.207
4	Franco	11.714	2.700	0.308	12.714	1.500	0.219	0.857	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	22.000	4.321	1.479	2.842
5	Franco	11.714	3.600	0.455	13.857	2.000	0.320	1.571	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	21.500	8.567	3.567	5.000
6	Franco	11.714	2.800	0.315	13.643	1.700	0.266	1.571	0.143	0.00	0.14	0.000	0.000	21.400	6.730	2.589	4.141
7	Franco	11.444	2.700	0.356	13.722	2.500	0.400	1.444	0.111	0.00	0.00	0.000	0.000	22.200	2.786	0.415	2.371
8	Franco	11.222	4.100	0.525	15.278	2.500	0.480	1.667	0.111	0.11	0.00	0.000	0.000	18.000	5.085	0.873	4.212
9	Franco	12.111	2.900	0.393	15.389	2.800	0.415	2.889	0.000	0.00	0.11	0.000	0.000	25.000	4.075	0.609	3.466
10	Franco	11.091	3.552	0.555	17.618	3.007	0.618	1.182	0.091	0.00	0.09	0.183	0.368	17.000	3.750	0.719	3.031
11	Franco	11.900	1.953	0.254	15.190	2.426	0.509	2.600	0.100	0.30	0.30	0.676	0.083	22.300	5.260	1.022	4.239
12	Franco	12.222	1.959	0.238	14.611	2.263	0.444	3.333	0.111	0.00	0.22	1.030	0.103	19.000	4.220	0.753	3.467
13	Franco	11.000	1.975	0.208	16.615	2.378	0.498	2.231	0.154	0.23	0.54	1.855	0.142	20.100	5.740	1.034	4.706
14	Franco	10.846	2.227	0.294	14.996	2.193	0.451	1.692	0.154	0.00	0.38	0.451	0.049	21.000	5.504	1.293	4.211
15	Franco	12.077	3.203	0.445	15.846	2.890	0.592	2.231	0.154	0.00	1.46	2.888	0.211	23.500	7.338	1.401	5.938
16	Franco	11.667	2.590	0.278	10.833	1.130	0.134	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	16.000	2.702	0.603	2.099
17	Franco	12.000	3.000	0.321	12.500	1.450	0.189	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	19.000	4.918	1.281	3.637
18	Franco	10.333	2.460	0.267	10.500	1.060	0.132	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	17.500	4.201	1.057	3.144
19	Franco	11.857	3.400	0.380	13.000	2.300	0.360	2.286	0.143	0.00	0.29	0.000	0.000	23.000	10.584	4.575	6.009
20	Franco	11.000	2.900	0.358	15.071	2.500	0.401	2.857	0.143	0.43	0.00	0.000	0.000	20.200	7.611	3.211	4.400
21	Franco	12.286	3.700	0.416	13.286	2.100	0.329	3.429	0.143	0.14	0.00	0.000	0.000	24.100	6.879	2.353	4.527

Nº	Suelo	hojas	Hoja P.F (g)	Hoja P.S (g)	Prom. Tallo	Tallo P.F (g)	Tallo P.S (g)	Media botón	Media abierta	Media muerta	Media Fruto	Fruto P.F (g)	Fruto P.S (g)	Raíz (cm)	Raíz P.F (g)	Raíz P.S (g)	Humedad raíz
22	Franco	12.889	3.500	0.430	16.233	2.800	0.510	1.889	0.222	0.00	0.00	0.000	0.000	21.000	5.263	0.811	4.453
23	Franco	11.111	3.400	0.464	14.911	2.800	0.451	1.667	0.000	0.00	0.11	0.000	0.000	24.000	4.992	0.943	4.048
24	Franco	11.556	3.300	0.371	14.556	3.200	0.437	3.444	0.111	0.22	0.33	0.000	0.000	18.000	5.223	0.651	4.572
25	Franco	12.364	3.011	0.446	16.755	2.552	0.529	1.273	0.182	0.00	0.18	0.302	0.054	18.000	4.560	0.775	3.785
26	Franco	11.600	2.810	0.397	13.760	2.353	0.486	2.800	0.300	0.00	0.40	0.580	0.090	21.000	4.700	0.989	3.711
27	Franco	11.556	2.067	0.250	14.311	1.836	0.291	2.556	0.222	0.11	0.56	5.306	0.373	27.000	5.200	1.037	4.163
28	Franco	11.538	2.296	0.339	16.788	2.807	0.588	2.077	0.231	0.08	0.69	0.852	0.094	26.000	6.630	1.530	5.099
29	Franco	10.462	3.723	0.405	16.577	2.789	0.510	2.000	0.077	0.00	0.54	0.096	0.010	21.400	8.917	1.150	7.767
30	Franco	10.538	2.691	0.389	18.077	3.118	0.630	1.154	0.154	0.08	0.54	1.482	0.114	20.500	7.855	2.217	5.638
31	F-A	10.667	2.300	0.258	10.500	0.980	0.123	0.667	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	16.100	3.717	1.018	2.699
32	F-A	11.333	2.850	0.318	12.583	1.490	0.211	2.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	20.000	4.370	0.950	3.420
33	F-A	13.000	3.120	0.329	12.167	1.300	0.167	1.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	18.750	4.053	0.907	3.146
34	F-A	12.286	4.800	0.611	12.814	2.800	0.429	4.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	24.000	7.332	1.931	5.400
35	F-A	14.286	5.500	0.654	13.771	2.500	0.377	1.143	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	26.000	4.848	0.988	3.860
36	F-A	12.286	5.500	0.679	13.786	2.400	0.355	1.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	24.000	7.981	3.475	4.506
37	F-A	13.000	4.400	0.644	15.356	3.900	0.648	2.333	0.222	0.00	0.00	0.000	0.000	23.000	5.319	0.844	4.475
38	F-A	11.889	4.100	0.561	14.400	3.500	0.585	2.667	0.111	0.00	0.11	0.000	0.000	20.000	6.635	0.903	5.732
39	F-A	13.556	4.300	0.544	14.389	2.100	0.395	3.111	0.222	0.44	0.44	5.000	0.352	24.500	6.496	0.845	5.651
40	F-A	12.545	4.513	0.606	15.027	2.071	0.531	2.636	0.182	0.09	0.45	6.837	0.483	21.250	5.990	0.923	5.067
41	F-A	15.636	2.830	0.375	16.718	3.121	0.668	2.455	0.182	0.18	0.55	1.079	0.134	24.000	5.720	1.290	4.430
42	F-A	13.182	3.992	0.567	14.818	2.303	0.511	2.727	0.182	0.55	0.55	6.625	0.531	25.000	5.330	1.024	4.306
43	F-A	12.846	3.985	0.626	17.077	3.325	0.742	2.615	0.385	0.15	0.46	6.716	0.410	22.500	7.178	1.489	5.689
44	F-A	12.231	2.818	0.318	17.115	3.190	0.705	2.615	0.231	0.38	0.46	2.821	0.209	27.800	9.639	1.629	8.010

Nº	Suelo	hojas	Hoja P.F (g)	Hoja P.S (g)	Prom. Tallo	Tallo P.F (g)	Tallo P.S (g)	Media botón	Medi a abierta	Media muerta	Media Fruto	Fruto P.F (g)	Fruto P.S (g)	Raíz (cm)	Raíz P.F (g)	Raíz P.S (g)	Humedad raíz
45	F-A	11.923	3.397	0.546	17.208	3.625	0.863	1.692	0.154	0.00	0.62	1.653	0.162	23.100	7.013	1.388	5.626
46	F-A	9.333	2.220	0.237	9.667	0.860	0.110	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	19.500	2.534	0.474	2.060
47	F-A	11.333	3.120	0.309	11.333	1.160	0.147	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	17.500	3.896	0.856	3.040
48	F-A	12.333	3.170	0.320	11.000	1.190	0.151	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	25.500	3.972	0.959	3.013
49	F-A	13.143	5.100	0.590	13.314	2.400	0.352	2.286	0.143	0.00	0.00	0.000	0.000	17.600	6.261	1.956	4.305
50	F-A	12.000	4.300	0.564	13.029	1.900	0.299	0.571	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	23.700	7.681	2.641	5.040
51	F-A	11.857	4.200	0.484	13.857	3.500	0.424	3.571	0.286	0.14	0.29	0.000	0.000	23.500	6.005	1.735	4.271
52	F-A	12.667	4.100	0.530	14.367	3.200	0.497	3.111	0.333	0.00	0.11	0.000	0.000	18.000	5.310	0.687	4.623
53	F-A	11.667	4.000	0.510	25.589	3.700	0.633	3.556	0.222	0.00	0.00	0.000	0.000	26.500	6.496	0.817	5.679
54	F-A	13.444	5.200	0.664	15.289	4.000	0.662	3.000	0.222	0.00	0.00	0.000	0.000	25.000	9.042	1.158	7.884
55	F-A	12.727	4.651	0.779	16.836	3.559	0.804	2.182	0.182	0.00	0.36	1.413	0.152	30.000	7.470	1.562	5.908
56	F-A	12.273	5.253	0.715	15.827	2.973	0.656	2.727	0.091	0.00	0.45	0.759	0.127	23.000	7.070	1.544	5.526
57	F-A	13.000	3.121	0.387	13.682	2.195	0.467	2.636	0.182	0.00	0.45	8.643	0.584	26.500	4.920	0.873	4.047
58	F-A	12.615	4.520	0.703	19.554	3.423	0.793	1.769	0.077	0.15	0.38	6.323	0.354	24.800	11.974	2.505	9.469
59	F-A	10.385	2.729	0.465	16.115	3.048	0.726	1.923	0.154	0.00	0.69	4.146	0.287	25.000	9.225	1.930	7.295
60	F-A	13.692	4.914	0.680	16.885	3.806	0.887	2.308	0.231	0.08	0.62	3.503	0.246	21.500	11.716	2.701	9.015

4° CORTE



5° CORTE

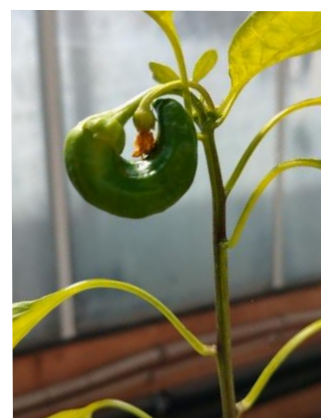


Figura 2 Plantas de pimienta el día de su respectivo corte. Las plantas para las fotos fueron agrupadas de la siguiente forma, empezando de izquierda a derecha: Suelo franco, tratamiento agua; suelo franco, tratamiento con Promesol; suelo franco-arenoso, tratamiento agua; suelo franco – arenoso, tratamiento con Promesol.

5.- FRUTOS

En las siguientes imágenes se muestra una comparativa sobre los frutos obtenidos en los diferentes suelos.

Suelo Franco – arenoso



Suelo Franco



6.- LONGITUD RADICULAR

Evolución del desarrollo radicular por suelo y tratamiento.

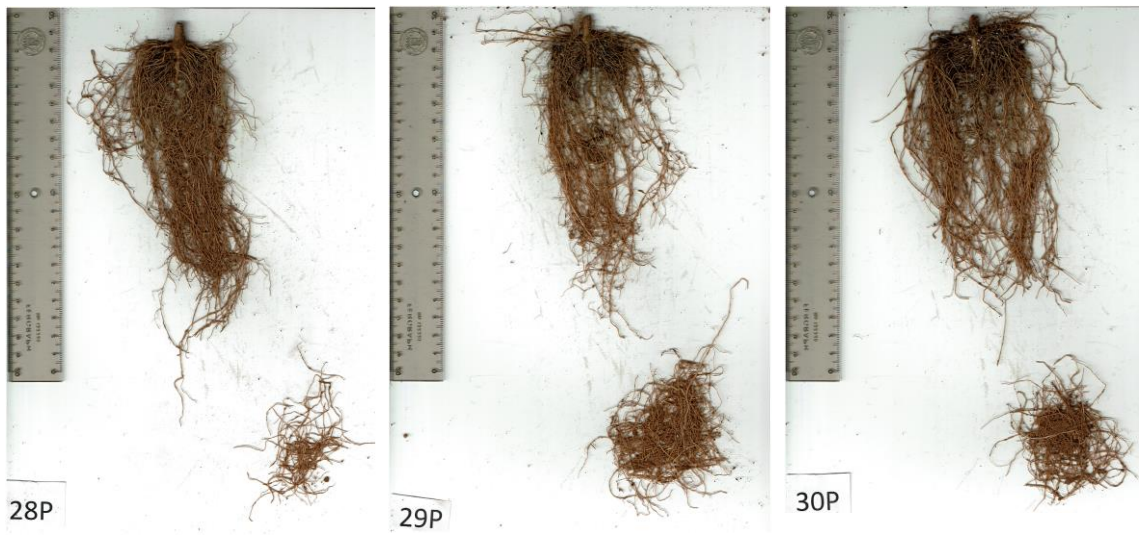
Suelo Franco – Tratamiento con Promesol 5x





Suelo Franco – Tratamiento riego únicamente agua





Suelo Franco – Arenoso – Tratamiento con Promesol 5x





34P



35P



36P



40P



41P



42P



43P



44P



45P

Suelo Franco – Arenoso – Tratamiento únicamente riego con agua





7.- COMPARATIVA DE RAICES

En las siguientes imágenes se muestra una comparativa sobre los suelos y los tratamientos. Todas se encuentran agrupadas en cuatro, teniendo el siguiente orden: las dos de la izquierda pertenecen a un suelo franco, tratamiento con Promesol y tratamiento con únicamente agua; las dos de la derecha al suelo franco – arenoso, tratamiento con Promesol y tratamiento con solo agua



