



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ecosistemas Agroforestales

Dinámica y optimización del mejorador de suelos Zytonic.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Sanidad y Producción Vegetal

AUTOR/A: Ramón-Llin Pla, Ana

Tutor/a: Ibañez Asensio, Sara

Cotutor/a: Moreno Ramón, Héctor

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Máster en Sanidad y producción Vegetal



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Trabajo de Fin de Máster:

**Dinámica y  
optimización del  
mejorador de suelos  
Zytonic.**

**Realizado por:**

Ana Ramón-Llin Pla

**Dirigido por:**

Dra. Sara Ibáñez Asensio

Dr. Héctor Moreno Ramón

## Resumen

Los suelos aportan diversos servicios ecosistémicos de vital importancia como permitir el ciclo de los nutrientes, retener el carbono atmosférico, regular el clima y las inundaciones, reducir los contaminantes, filtrar el agua, además de suministrar alimentos, fibras y combustibles entre otros muchos servicios. A pesar de su importancia, el estado de los suelos a nivel mundial se encuentra degradado, provocando pérdidas de tierras fértiles y por tanto reduciendo la producción para suministrar alimentos a la población en auge. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) ya contemplan esta problemática con el objetivo número 15, donde se pretende “*promover el usos sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de diversidad biológica*”. Por ello, es de vital importancia que la ciencia permita una mejor gestión de los campos, facilitando información a los agricultores sobre técnicas más respetuosas con el recurso suelo, como la utilización conjunta de mejoradores de suelo y bioestimulantes.

La tecnología Zytonic fabricada por la empresa OPTIMASOIL S.L., es una combinación de un bioestimulante y un mejorador de suelos que al estar en desarrollo, existen pocos estudios publicados sobre sus efectos, y estos se centran principalmente en el desarrollo de la planta y no sobre los efectos en el suelo. Debido a esta observación, el objetivo principal del presente trabajo es evaluar la dinámica y la posible optimización de la aplicación de ambos productos a lo largo de un corto periodo de tiempo (2 meses) sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Para ello, se realizaron dos ensayos con tomate (*Solanum lycopersicum*). En el primero se evaluó la dinámica de Zytonic mediante la comparación de la aplicación de la dosis inicial recomendada por el fabricante con plantas sin tratamiento a lo largo del periodo de estudio sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el desarrollo de las plantas. En el segundo, evaluó la eficiencia de diferentes dosis iniciales, y la de la dosis de refuerzo recomendada en comparación con una dosis de refuerzo reducida. Los resultados concluyeron que para ambas experiencias no muestran diferencias significativas entre tratamientos por el corto periodo en el que se realiza la experiencia, aunque sí que se puede observar una tendencia a mejorar en las propiedades del suelo y el desarrollo de la planta con la aplicación de Zytonic en la primera experiencia, y en la segunda experiencia se observa una mejora de las condiciones con el aumento de la dosis inicial aplicada, aunque muestra un mejor mantenimiento con una dosis de refuerzo reducida.

**Palabras clave:** Suelo, calidad, mejorador de suelo, bioestimulante, agricultura, producción.

## **Abstract**

Soils provide a number of vital ecosystem services such as enabling nutrient cycling, retaining atmospheric carbon, regulating climate and flooding, reducing pollutants, filtering water, as well as providing food, fiber and fuel, among many other services. Despite their importance, the state of soils globally is degraded, causing losses of fertile land and thus reducing production to supply food for the booming population. The Sustainable Development Goals (SDGs) already contemplate this problem with goal number 15, which aims to "promote the sustainable use of terrestrial ecosystems, combat desertification, halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss". Therefore, it is of vital importance that science enables better field management, providing information to farmers on techniques that are more respectful of soil resources, such as the joint use of soil improvers and biostimulants.

The Zytonic technology manufactured by the company OPTIMASOIL S.L., is a combination of a biostimulant and a soil improver that, being in development, there are few published studies on its effects, and these are mainly focused on the development of the plant and not on the effects on the soil. Due to this observation, the main objective of the present work is to evaluate the dynamics and possible optimization of the application of both products over a short period of time (2 months) on the physical and chemical properties of the soil.

For this purpose, two trials were carried out with tomato (*Solanum lycopersicum*). In the first, the dynamics of Zytonic were evaluated by comparing the application of the initial dose recommended by the manufacturer with untreated plants over the study period on soil physical and chemical properties and plant development. In the second, he evaluated the efficiency of different starting doses, and that of the recommended booster dose compared to a reduced booster dose. The results concluded that for both experiences did not show significant differences between treatments due to the short period in which the experience was carried out, although a tendency to improve soil properties and plant development can be observed with the application of Zytonic in the first experience, and in the second experience an improvement of the conditions is observed with the increase of the initial dose applied, although it shows a better maintenance with a reduced booster dose.

**Key words:** Soil, quality, soil improver, biostimulant, agriculture, production.

## Resum

Els sòls aporten diversos serveis ecosistèmics de vital importància com permetre el cicle dels nutrients, retenir el carboni atmosfèric, regular el clima i les inundacions, reduir els contaminants, filtrar l'aigua, a més de subministrar aliments, fibres i combustibles entre molts altres serveis. Tot i la seva importància, l'estat dels sòls a nivell mundial es troba degradat, provocant pèrdues de terres fèrtils i per tant reduint la producció per subministrar aliments a la població en auge. Els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) ja contemplen aquesta problemàtica amb l'objectiu número 15, on es pretén “promoure l'usos sostenibles dels ecosistemes terrestres, lluitar contra la desertificació, aturar i invertir la degradació de les terres i frenar la pèrdua de diversitat biològica”. Per això, és de vital importància que la ciència permeti una millor gestió dels camps, facilitant informació als agricultors sobre tècniques més respectuoses amb el recurs sòl, com ara la utilització conjunta de milloradors de sòl i bioestimulants.

La tecnologia Zytonic fabricada per l'empresa OPTIMASOIL S.L., és una combinació d'un bioestimulant i un millorador de sòls que en estar en desenvolupament, hi ha pocs estudis publicats sobre els seus efectes, i aquests se centren principalment en el desenvolupament de la planta i no sobre els efectes a terra. A causa d'aquesta observació, l'objectiu principal del present treball és avaluar la dinàmica i la possible optimització de l'aplicació dels dos productes al llarg d'un període de temps curt (2 mesos) sobre les propietats físiques i químiques del sòl.

Per això, es van realitzar dos assaigs amb tomàquet (*Solanum lycopersicum*). Al primer es va avaluar la dinàmica de Zytonic mitjançant la comparació de l'aplicació de la dosi inicial recomanada pel fabricant amb plantes sense tractament al llarg del període d'estudi sobre les propietats físiques i químiques del sòl i el desenvolupament de les plantes. Al segon, va avaluar l'eficiència de diferents dosis inicials, i la de la dosi de reforç recomanada en comparació amb una dosi de reforç reduïda. Els resultats van concloure que per a ambdues experiències no mostren diferències significatives entre tractaments pel curt període en què es realitza l'experiència, encara que sí que es pot observar una tendència a millorar en les propietats del sòl i el desenvolupament de la planta amb l'aplicació de Zytonic a la primera experiència, ja la segona experiència s'observa una millora de les condicions amb l'augment de la dosi inicial aplicada, tot i que mostra un millor manteniment amb una dosi de reforç reduïda.

**Paraules clau:** Sòl, qualitat, millorador de sòl, bioestimulant, agricultura, producció.

## Índice

1.	Introducción .....	8
1.1	Estado de los suelos en el mundo .....	8
1.2	Productos fertilizantes .....	10
1.3	Tipos de mejoradores de suelo y bioestimulantes de plantas .....	10
1.3.1	Los suelos y sus propiedades .....	11
2.	Objetivos .....	13
3.	Materiales y métodos .....	13
3.1	Producto Zytonic-M y NPK (producto mejorador y bioestimulante) .....	13
3.2	Diseño experimental .....	14
3.2	Fase de laboratorio .....	15
3.2.1	Conductividad eléctrica del extracto (CE) .....	15
3.2.2	pH .....	16
3.2.3	Nitrógeno Kjeldahl.....	16
3.2.4	Ureasa .....	17
3.2.5	Materia orgánica (MO).....	18
3.2.6	Capacidad de campo (CC%).....	18
3.2.7	Estabilidad de agregados (EA%) .....	18
3.2.8	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	19
3.2.9	Fenología .....	20
3.3	Análisis estadístico .....	20
4	Resultados y discusión .....	20
4.2	Dinámica de Zytonic.....	20
4.2.1	Conductividad eléctrica (CE) .....	20
4.2.2	pH .....	22
4.2.3	Nitrógeno total (%).....	22
4.2.4	Ureasa .....	23
4.2.5	Materia orgánica (MO%).....	24
4.2.6	Capacidad de Campo (CC%) .....	25
4.2.7	Estabilidad de agregados (EA%) .....	26
4.2.8	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC%) .....	27
4.2.9	Fenología .....	28
4.3	Optimización de Zytonic.....	31
4.3.1	Conductividad eléctrica (CE) .....	32

4.3.2	pH .....	32
4.3.3	Nitrógeno (%) .....	33
4.3.4	Ureasa .....	33
4.3.5	Materia orgánica (MO%) .....	34
4.3.6	Capacidad de Campo (CC%) .....	35
4.3.8	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) .....	35
4.3.9	Fenología .....	36
5	Conclusiones .....	39
6	Bibliografía .....	40

## Índice de figuras

Figura 1 Multifuncionalidad del suelo (Arias et al., 2018). .....	8
Figura 2 Mapa del mundo sobre la erosión por año de los suelos (Borrelli et al., 2017). .....	9
Figura 3. Distribución sobre la bancada de las unidades experimentales. ....	15
Figura 4. Conductímetro Crison micro-CM 2202 utilizado para medir la CE. ....	16
Figura 5. pHmetro Crison micro-pH 2001 utilizado para medir el pH.....	16
Figura 6. Imagen del instrumento utilizado para destilar las muestras.....	17
Figura 7. Máquina para el baño maría (derecha) y agitadores (izquierda).....	17
Figura 8. Olla a baja presión donde se deja drenar el agua libremente de las muestras de suelo. .....	18
Figura 9. Imagen del instrumento utilizado para tamizar las muestras de suelo en húmedo....	19
Figura 10. Limpieza de raíces (izquierda) y colocación en el escáner (derecha). ....	20
Figura 11. Medias de CE (dS/m) de las plantas tratadas con agua y Zytonic. ....	21
Figura 12. Evolución de la CE (dS/m) entre el tratamiento con y sin Zytonic. ....	22
Figura 13. Medias de pH de las plantas tratadas con agua y Zytonic. ....	22
Figura 14. Medias de Nitrógeno total (%) de las plantas tratadas con agua y Zytonic. ....	23
Figura 15. Medias de ureasa de las plantas tratadas con agua y Zytonic. ....	24
Figura 16. Medias de MO de las plantas tratadas con agua y Zytonic. ....	25
Figura 17. Medias de CC (%) de las plantas tratadas con agua y Zytonic. ....	26
Figura 18. Medias de la estabilidad de agregados (%) de las plantas tratadas con agua y Zytonic. .....	27
Figura 19. Medias de CIC (%) de las plantas tratadas con agua y Zytonic. ....	28
Figura 20. Medias del número de frutos (M Fruto) de las plantas tratadas con agua y Zytonic.	28
Figura 21. Comparación de la media de flores (Flores), flores abiertas (Flores A) y flores muertas (Flores M) entre tratamientos de agua y Zytonic. ....	29
Figura 22. Comparación del número de frutos con el tratamiento con agua (izquierda) y el de Zytonic (derecha). ....	29
Figura 23. Medias de la humedad radicular (ml) de los tratamientos con agua y Zytonic. ....	30
Figura 24. Comparación de raíces en sustrato con (izquierda) y sin (derecha) el mejorador de suelos Zytonic. ....	30
Figura 25. Comparación de la media del número de hojas (M hojas) y longitud del tallo (M tallo) entre los suelos tratados con agua y con Zytonic.....	31
Figura 26. Comparación de la longitud y el número de hojas para el tratamiento con agua (izquierda) y el tratamiento con Zytonic (derecha). ....	31
Figura 27. Medias de la conductividad eléctrica añadiendo al suelo diferentes dosis iniciales (izquierda) y relación entre las dosis iniciales y de refuerzo (derecha). ....	32
Figura 28. Comparación del pH a diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales con las dosis de refuerzo (derecha). ....	33
Figura 29. Comparación de la cantidad de nitrógeno en el suelo de las diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y las de refuerzo (derecha). ....	33
Figura 30. Comparación de la ureasa para las diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y de refuerzo (derecha). ....	34
Figura 31. Comparación de la MO (%) con diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y las dosis de refuerzo (derecha). ....	35
Figura 32. Comparación de la CC (%) con diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y las de refuerzo (derecha). ....	35

Figura 33. Comparación de la CIC (%) con diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y las de refuerzo (derecha).....	36
Figura 34. Comparación de la CIC (%) con diferentes dosis iniciales de Zytonic. ....	36
Figura 35. Comparación del número de hojas (M hojas) para cada dosis inicial (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y las de refuerzo (derecha).....	37
Figura 36. Comparación de la longitud en centímetros del tallo (M tallo) para cada dosis inicial (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y de refuerzo (derecha). ....	37
Figura 37. Comparación de las diferentes dosis iniciales de Zytonic con la media de inflorescencias (M inflorescencia), flores (M flores), flores abiertas (M flores A.), flores muertas (M flores M.) y frutos (M frutos).....	37
Figura 38. Comparación de la longitud de las raíces (cm) con las diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y de refuerzo (derecha). ....	38
Figura 39. Comparación de la humedad de las raíces (ml) con las diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y de refuerzo (derecha). ....	38

### Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades del suelo utilizado para las unidades experimentales.....	14
Tabla 2. Mediciones e interpretación de la conductividad eléctrica 1/5.....	21
Tabla 3. Interpretación del contenido de nitrógeno total en los suelos agrícolas (Método Kjeldahl) (Villarreal A., 1988). ....	23
Tabla 4. Porcentaje de materia orgánica según la clase textural del suelo (Saña et al., 1996). .	24
Tabla 5. Capacidad de campo según las clases texturales de (Israelsen & Hansen, 1979) citado por Pascual España & Pascual Seva (2020). ....	25
Tabla 6. Estabilidad de los agregados al agua (%) (Florentino, 1998).....	27
Tabla 7. Medias obtenidas de la longitud de las raíces y la humedad.....	30

# 1. Introducción

## 1.1 Estado de los suelos en el mundo

La calidad del suelo es uno de los tres pilares de la calidad medioambiental, además de la calidad del agua y del aire (Andrews et al., 2002). La calidad del suelo no se limita a su grado de contaminación, sino que suele definirse de forma mucho más amplia como "la capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema y del uso de la tierra para sostener la productividad biológica, mantener la calidad medioambiental y promover la salud animal y vegetal" (Doran & Parkin, 1994).

Esta definición refleja la complejidad y especificidad del suelo, así como los numerosos vínculos entre las funciones del suelo y sus servicios ecosistémicos. De hecho, su calidad es más compleja que la del aire y del agua, no sólo porque el suelo está formado por fases sólidas, líquidas y gaseosas, sino también porque puede utilizarse para una mayor variedad de fines (Nortcliff, 2002).

Según la FAO (2015), los suelos aportan servicios ecosistémicos que permiten la vida en la tierra como; permitir el ciclo de los nutrientes, son el hábitat para organismos, regulan las inundaciones, son fuente de productos farmacéuticos y recursos genéticos, son la base para infraestructuras humanas, nos suministran materiales para la construcción, son herencia cultural, además de suministrar alimentos, fibras y combustibles, retienen el carbono atmosférico, purifican el agua y reducen los contaminantes del suelo y regulan el clima. Además, en la figura 1 se detallan algunos servicios más.

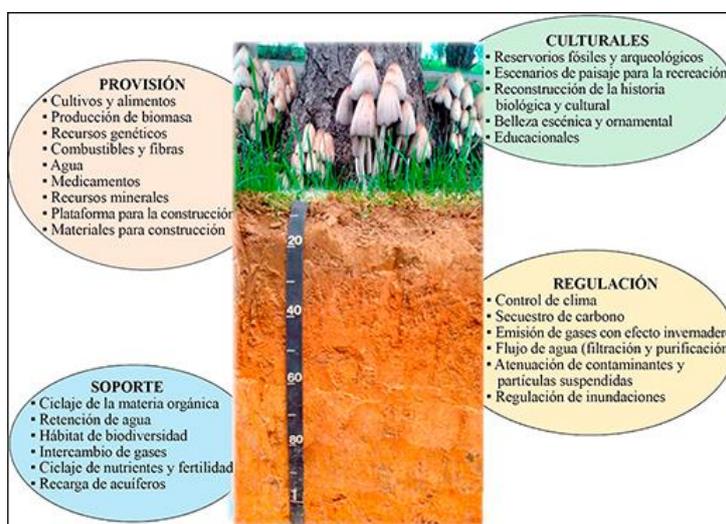


Figura 1 Multifuncionalidad del suelo (Arias et al., 2018).

Esta multifuncionalidad de los suelos también se aborda cuando la calidad del suelo es definida desde una perspectiva medioambiental como "la capacidad del suelo para favorecer el crecimiento de las plantas, proteger las cuencas hidrográficas regulando la infiltración de las precipitaciones, y prevenir la contaminación del agua y el aire amortiguando posibles contaminantes como los productos químicos agrícolas, los residuos orgánicos y los productos químicos industriales" (Sims et al., 1997).

La calidad del suelo puede evaluarse tanto en el caso de los ecosistemas agrícolas, cuyo principal, aunque no único, servicio ecosistémico es la productividad, como en el de los ecosistemas

naturales. Los objetivos principales son el mantenimiento de la calidad ambiental y la biodiversidad.

Actualmente, según la ONU (2020), el 24% del suelo mundial se encuentra degradado (Fig. 2), entre un 20 y 25% son pastizales, un 20% son tierras de cultivo de las que dependen 1.500 millones de personas en el mundo. Esto da como resultado que las tierras de 110 países estén en riesgo de degradación, provocando la pérdida de 12 millones de hectáreas de suelo y 20 millones de toneladas de grano cada año, con pérdidas de hasta 42.000 millones de euros.

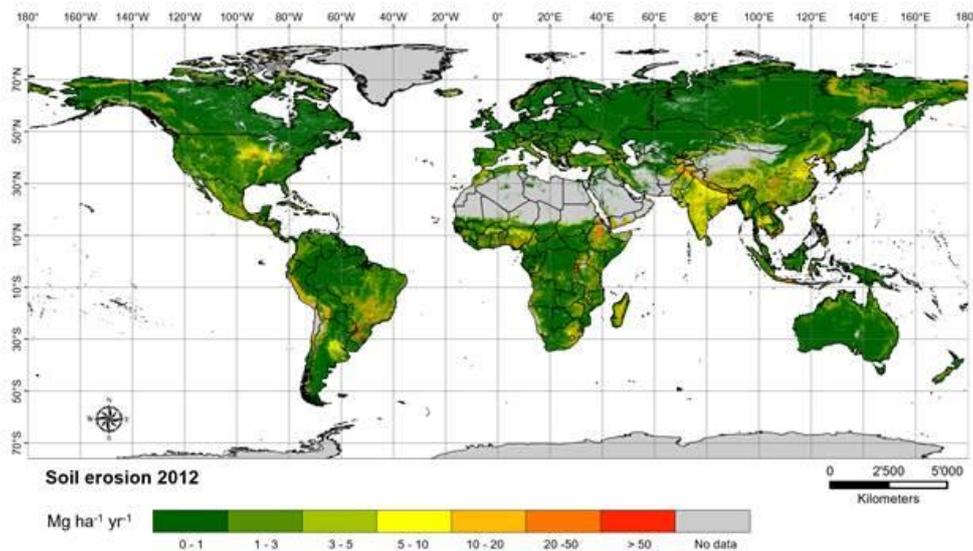


Figura 2 Mapa del mundo sobre la erosión por año de los suelos (Borrelli et al., 2017).

Además, el rápido aumento previsto de la población mundial hasta alcanzar los 8.900 millones de personas en 2050 provocará una mayor demanda de productos agrícolas (Lichtfouse et al., 2009). La elevada demanda de alimentos y la escasez de nuevos terrenos agrícolas por la pérdida de calidad de los suelos en el futuro exigirán duplicar el rendimiento de los cultivos utilizando medios sostenibles.

Los científicos pueden contribuir sustancialmente a la sostenibilidad global de las tierras agrícolas, traduciendo los conocimientos científicos sobre la función del suelo en metodologías prácticas que enriquezcan los conocimientos de los agricultores para evaluar la sostenibilidad de sus prácticas de gestión. Las estrategias de gestión agrícola sostenible tienen como objetivo aumentar la materia orgánica del suelo y reducir la erosión mediante la mejora de la diversidad vegetal y el laboreo conservacionista (Doran, 2002).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) ya contemplan esta problemática con el objetivo número 15, donde se pretende *“promover el usos sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de diversidad biológica”*

En este contexto, satisfacer la demanda prevista de producción de alimentos sanos y sostenibles es un reto crucial. De hecho, aumentar la productividad de los cultivos mitigando el cambio climático y preservando los agroecosistemas es uno de los objetivos significativos de la agricultura sostenible (Timsina, 2018). Sin embargo, intentar satisfacer la demanda agrícola mediante el uso intensivo de fertilizantes y plaguicidas sintéticos ha provocado la degradación de la tierra y la contaminación ambiental, lo que ha tenido efectos adversos en los seres humanos, los animales y los ecosistemas acuáticos (Devarinti, 2016) .

La agricultura sostenible se ha definido como un enfoque integrado alternativo que podría utilizarse para resolver cuestiones fundamentales y aplicadas relacionadas con la producción de alimentos de forma ecológica (Lal, 2008). Integra principios biológicos, físicos, químicos y ecológicos para desarrollar nuevas prácticas que no sean perjudiciales para el medio ambiente (Lichtfouse et al., 2009). Además, la sostenibilidad puede contribuir potencialmente a satisfacer las necesidades agrícolas alimentarias en todo el mundo por la disminución de pérdida de tierras fértiles (Singh et al., 2011).

La actual política agraria de la CE es una buena prueba de los esfuerzos que a día de hoy está realizando la comunidad internacional. La nueva reforma de la PAC (2023) tiene como objetivos brindar un respaldo más focalizado a las operaciones agrícolas de menor escala, ampliar la contribución del sector agrícola a los objetivos medioambientales y climáticos de la Unión Europea y fortalecer la capacidad de los Estados miembros para ajustar las medidas de acuerdo a las circunstancias locales.

## 1.2 Productos fertilizantes

Para mantener o mejorar la salud del suelo, es necesario profundizar en el conocimiento de las prácticas de gestión agrícola y permitir que los agricultores tengan acceso a la información y las herramientas generadas (Page et al., 2020).

Entre las prácticas de gestión agrícola en cuanto al uso de fertilizantes, los mejoradores de suelo se definen de acuerdo con el Reglamento (UE) 2019/1009, CFP 3, como *“una enmienda del suelo que debe ser un producto fertilizante de la UE cuya función sea mantener, mejorar o proteger las propiedades físicas o químicas, la estructura o la actividad biológica del suelo al que se añade”*.

Por consiguiente, los mejoradores de suelo desempeñan un papel vital en el incremento de los resultados de cosecha debido a su función similar a la de los fertilizantes orgánicos (Demuner-Molina et al., 2014). Es crucial reconocer que esto no reemplaza la fertilización química, sino que la complementa. Además, es necesario considerar la cantidad, el tipo de enmienda y los momentos de aplicación, todos interconectados, para lograr un potencial significativo de captura de carbono. Un aporte sustancial o un aumento notable de carbono orgánico en el suelo estimula la actividad microbiana del suelo, lo que a su vez fomenta una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas (Liu et al., 2009).

Además, para asegurar una correcta nutrición de las plantas, se puede hacer uso conjunto de los mejoradores de suelo con los bioestimulantes, que según el Reglamento (UE) 2019/1009, CFP 6, se define como *“un producto fertilizante UE cuya función consista en estimular los procesos de nutrición de las plantas con independencia del contenido de nutrientes del producto, con el único objetivo de mejorar una o varias de las características de las plantas y su rizosfera: eficiencia en el uso de nutrientes, tolerancia al estrés abiótico, características de calidad o disponibilidad de nutrientes inmovilizados en el suelo y la rizosfera”*

## 1.3 Tipos de mejoradores de suelo y bioestimulantes de plantas

Existen varios tipos de mejoradores de suelo y bioestimulantes dependiendo su origen. Los mejoradores de suelo según el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, se pueden dividir en 3 grupos según sus características: enmiendas calizas (cálcicas o magnésicas), enmiendas orgánicas y otras enmiendas. Las enmiendas calizas deben contener calcio y/o magnesio, esencialmente en forma de óxido, hidróxido, carbonato o silicato, utilizada para modificar el pH del suelo. Las enmiendas orgánicas son procedentes de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizados para modificar el contenido de materia orgánica y mejorar las propiedades químicas y físicas del suelo. Y por último, también se incluyen

otras enmiendas que no estén incluidas en los grupos anteriores, pero utilizadas con la misma finalidad que las enmiendas orgánicas.

En cuanto a los productos bioestimulantes, en el Reglamento (UE) 2019/1009, CFP 6, estos se dividen en dos grupos según su composición: bioestimulante de plantas microbiano, que debe estar constituido por un microorganismo o un grupo de microorganismos que se mencionan en el reglamento y libre de patógenos, y bioestimulantes de plantas no microbianos, que se entiende como cualquier bioestimulante que no se clasifique como bioestimulante microbiano.

### 1.3.1 Los suelos y sus propiedades

El concepto de suelo ha variado de forma significativa a lo largo del tiempo, acorde con el cambio del pensamiento científico y del conocimiento. Existen siete aproximaciones conceptuales que hacen referencia al suelo como: sustrato para el desarrollo vegetal; entidad geológica; cuerpo natural; material estructural; manto transmisor de agua; componente del ecosistema y modelo holístico de la edafosfera (López-Acevedo et al., 2019).

#### 1.3.1.1 Propiedades químicas

##### 1.3.1.1.1 Capacidad de Intercambio Catiónico

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida que cuantifica la cantidad de cargas negativas en las superficies de los minerales y elementos orgánicos del suelo, como la arcilla, la materia orgánica y las sustancias húmicas. Esta medida representa la capacidad de estas superficies para retener los cationes, como calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), amonio (NH<sub>4</sub>), entre otros (FAO, s. f.).

Además de las propiedades de la capacidad de campo y regulación biológica, la CIC es una de las propiedades más importantes para las evaluaciones de las características del suelo ya que también determina la dinámica global de nutrientes disponibles para las plantas (Deumlich et al., 2015).

##### 1.3.1.1.2 pH

Según la definición descrita por la (FAO, s. f.), *“el pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de adsorción de iones (H<sup>+</sup>) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino”*. Los suelos se denominan ácidos, neutros o alcalinos (o básicos) según sus valores de pH en una escala de 0 a 14. El pH de 7 es neutro, menos de 7 es ácido y superior a 7 alcalino (McCauley et al., 2009).

El pH es una variable importante en los suelos porque controla muchos procesos químicos y bioquímicos que operan en su interior. Su conocimiento es importante en la agricultura porque regula la disponibilidad de nutrientes para las plantas al controlar las formas químicas de los distintos nutrientes, e influye en sus reacciones químicas. En consecuencia, la productividad del suelo y de los cultivos está relacionado con el valor del pH del suelo, encontrando los pH óptimos para la mayoría de cultivos entre 5.5 y 7.5, aunque algunos cultivos se han adaptado a valores fuera de ese rango (Oshunsanya, 2018).

##### 1.3.1.1.3 Materia orgánica

La materia orgánica del suelo es un componente clave de cualquier ecosistema, y la variación de su abundancia y naturaleza tiene profundos efectos en muchos de los procesos que ocurren en el sistema. Es probable que la consideración más importante sea el mantenimiento de la estructura del suelo y al estabilidad de la tierra, ya que una reducción de la materia orgánica

puede provocar la pérdida de estructura y la erosión en muchos suelos (Spain et al., 1983). La aplicación de materia orgánica estimula el crecimiento y la actividad de la población microbiana del suelo, que a su vez tiene un efecto sobre mejorando el crecimiento de las plantas a través del suministro de sustancias bioquímicamente importantes (Chen & Avnimelech, 2012).

#### *1.3.1.1.4 Conductividad Eléctrica*

La conductividad eléctrica del suelo representa una manera indirecta de medir la presencia de sales en el mismo. En condiciones naturales, el suelo contiene ciertas cantidades de sales disueltas, lo que significa que la conductividad eléctrica nunca llega a ser nula, aunque puede variar en intensidad. Estas sales son beneficiosas para organismos que las necesitan disueltas en el agua, pero un exceso de ellas puede perjudicar tanto el desarrollo de las plantas como la actividad de los microorganismos presentes en el suelo (Cremona & Enriquez, 2020).

La salinidad excesiva del suelo reduce el rendimiento de muchos cultivos. Esto va desde una leve pérdida de cosecha, hasta la pérdida total de la misma, dependiendo del tipo de cultivo y de la gravedad del problema de salinidad. La mayoría de cultivos no se ven afectados cuando los niveles de salinidad son de 0 a 2 dS/m, y conforme aumenta, se reduce la cantidad de cultivos resistentes (Bauder et al., 2004).

#### *1.3.1.1.5 Nitrógeno*

El nitrógeno es el nutriente vegetal más importante para la producción de cultivos. Es un componente esencial de la clorofila, las enzimas, las proteínas, etc. El nitrógeno ocupa una posición única como nutriente vegetal, ya que se requieren cantidades bastante elevadas en comparación con otros nutrientes esenciales. Estimula el crecimiento de las raíces y estimula el desarrollo de los cultivos, así como la absorción de los demás nutrientes. La deficiencia en este nutriente se caracteriza por plantas atrofiadas, con una tasa de crecimiento inferior a la óptima, las hojas más viejas senescen prematuramente y puede provocar clorosis foliar (Hofman & Cleemput, 2004).

Los aportes de nitrógeno pueden ser de diferentes formas, entre ellas, la enzima ureasa actúa ayudando a la hidrólisis de la urea en CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>, lo que conduce a un aumento del pH del suelo y la pérdida de nitrógeno a la atmósfera a través de la volatilización de NH<sub>3</sub> (Das & Varma, 2010). La enzima está ampliamente distribuida en la naturaleza, y se origina a partir de bacterias, levaduras, hongos, algas, desechos animales y plantas (Follmer, 2008). Los estudios de la actividad de la ureasa del suelo han sido de gran interés a lo largo de los años y se han utilizado como un buen índice de calidad del suelo, debido al papel de la ureasa en la regulación del suministro de N a las plantas (Piotrowska-Długosz & Charzyński, 2015).

#### *1.3.1.2 Propiedades físicas*

##### *1.3.1.2.1 Capacidad de campo*

La cantidad de agua retenida varía de un suelo a otro, es decir, de un horizonte a otro, y está relacionada con la distribución del tamaño de los poros del suelo. Además, depende de factores como el tipo de cubierta vegetal, la densidad de plantas, la fase de crecimiento de las plantas, la profundidad de enraizamiento, las tasas de evaporación y transpiración, la cantidad de agua infiltrada, la tasa de humectación, la naturaleza de los horizontes o estratificación del suelo y el tiempo transcurrido desde la última lluvia o riego. Para muchas aplicaciones agronómicas, resulta valioso cuantificar la cantidad de agua retenida que puede ser utilizada por las plantas o que afecta al grado en que puede producirse la percolación profunda (Cassel & Nielsen, 1986).

Así, la adición de enmiendas orgánicas, son una forma fácil, factible y respetuosa con el medio ambiente de mejorar los atributos físicos del suelo como la capacidad de retención de agua que estará disponible para el correcto crecimiento y producción de las plantas y la calidad de los suelos (Mujdeci et al., 2019).

#### *1.3.1.2.2 Estabilidad de Agregados*

Los agregados del suelo se forman principalmente por fuerzas físicas mientras que la estabilización se efectúa por varios factores que incluyen materiales orgánicos, óxidos de hierro y aluminio, y arcillas. El tamaño, la disposición y la estabilidad de los agregados del suelo tienen una gran influencia en las propiedades físicas del suelo y en el crecimiento de los cultivos (Lynch & Bragg, 1985). Una buena estructura del suelo es una propiedad importante para mantener la productividad agrícola y preservar la calidad medioambiental, ya que la estabilidad de los agregados y de los poros entre ellos, afecta a la disponibilidad de agua, la aireación, la erosión, la actividad biológica y el crecimiento de los cultivos (Amézketa, 1999).

## 2. Objetivos

Sobre la tecnología Zytonic existen pocos estudios publicados, debido a que es una tecnología que se encuentra en desarrollo, y principalmente estos estudios se centran en el efecto sobre el desarrollo de la planta y no sobre los efectos en el suelo, sin embargo, en el trabajo realizado por Serrano Hidalgo, (2021), sí que se observa que esta tecnología mejora las condiciones del suelo.

Debido a esta observación, el objetivo principal del presente trabajo es evaluar la dinámica y la posible optimización de la aplicación del mejorador de suelos y bioestimulante Zytonic a lo largo de un corto periodo de tiempo (2 meses) sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Como objetivos secundarios se plantean los siguientes:

- Evaluar si la aplicación de Zytonic favorece el desarrollo fenológico prematuro de las plantas y el desarrollo del sistema radicular.
- Evaluar si la aplicación de Zytonic produce efectos en suelo y planta en un corto período de estudio.
- Determinar el efecto de las dosis inicial y de refuerzo del producto sobre suelos (propiedades físicas y químicas) y plantas.
- Identificar la dosis inicial y de refuerzo que mayores resultados presente.

## 3. Materiales y métodos

### 3.1 Producto Zytonic-M y NPK (producto mejorador y bioestimulante)

El mejorador de suelo Zytonic-M, fabricado por la empresa OPTIMASOIL S.L, está publicitado como un acondicionador para una mejor actividad de los microorganismos del suelo, manteniendo la humedad requerida y facilitando el flujo de aire a través del manejo de la porosidad. Su formulación es inerte de talco, sílice, polímeros orgánicos y Humato de potasio, y los beneficios que aporta son una mejora del tamaño, sabor e incremento de la producción, la reducción del consumo de agua y la mejora del periodo de conservación en la mayor parte de frutas y vegetales. Este se añade en forma de polvo según el fabricante a las diferentes dosis descritas en el diseño. La ficha técnica se detalla en la tabla 3 del Anexo 1.

Por otro lado, el bioestimulante Zytonic NPK, se define como un biofertilizante soluble en agua formado por bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizantes de fosfato y movilizadoras de K. Los beneficios que aporta son mayores rendimientos, una calidad y vida útil de la planta mejoradas, una mejor floración (una menor caída de las hojas) y fructificación, y una mejor salud del suelo y actividad biológica. La ficha técnica se detalla en la tabla 2 del Anexo 1.

Se aplicaron ambos productos en conjunto debido a que el efecto sobre el suelo y sobre la planta produce mejores resultados, según recomienda el fabricante.

### 3.2 Diseño experimental

La investigación consiste en el diseño de dos experiencias simultáneas que permitan conocer los objetivos del trabajo. La primera experiencia consta de 2 tratamientos (A= Agua; Z = Zytonic), con 5 periodos de evaluación (15, 30, 45, 60 y 75 días), con una dosis de aplicación de Zytonic (D50=45 mL/L) y 3 réplicas, resultando un total de 30 unidades experimentales. Esta experiencia permite evaluar si la aplicación del producto Zytonic tiene efecto sobre la fenología y el desarrollo radicular, y sobre las propiedades del suelo en un corto período de tiempo.

En primer lugar, para observar la dinámica que sufre el suelo a lo largo del tiempo tras la aplicación del mejorador, se seleccionaron 30 macetas, 15 son testigo (B) regadas únicamente con agua y 15 a las que se riegan con agua y se les aplica la dosis indicada de Zytonic (T). Para poder comparar las posibles diferencias entre ambas se realizan cortes cada 15 días de 6 plantas, 3 testigo y 3 tratadas, separando la parte aérea del sustrato (tabla cortes ANEXO).

La segunda experiencia consta de 5 dosis iniciales (D1=13.5 mL/L; D2=27 mL/L; D3=45 mL/L; D4=52.5 mL/L y D5= 67.5 mL/L) con una dosis de refuerzo de 10 kg/ha (32.2 mL/L) y 3 réplicas, y además, otras 3 dosis iniciales (D6=13.5 mL/L; D7=45 mL/L y D8=67.5 mL/L) con una dosis de refuerzo de 5 kg/ha (9.6 mL/L) y 3 réplicas, resultando un total de 24 unidades experimentales. Esta experiencia permite conocer la diferencia que presenta las dosis iniciales y las dosis de refuerzo sobre las propiedades del suelo y la fenología y desarrollo radicular de la planta.

Las macetas se prepararon en ambas experiencias con 1650 gramos de suelo (tabla 1) y 75 gramos de turba, donde se sembraron 54 plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) que se situaron en el invernadero número 8 de la Universitat Politècnica de València (Fig. 3). Este invernadero cuenta con un adecuado sistema de ventilación y control de plagas para un crecimiento óptimo, y el riego se suministra a todas las plantas por igual, según las necesidades hídricas para evitar las condiciones de estrés (Tabla 1 Anexo 1). La distribución espacial de las unidades experimentales de la primera y la segunda experiencia se detalla en la Figura 1 del Anexo 1.

Tabla 1. Propiedades del suelo utilizado para las unidades experimentales.

Textura	Ec uS/cm	pH	MO	Nitrógeno	Ureasa	CIC
<b>Franca</b>	291	8.29	0.66	0.02	0.01	7.17



*Figura 3. Distribución sobre la bancada de las unidades experimentales.*

En todas las macetas se registró la fenología que incluye el recuento de hojas desplegadas, el tamaño del tallo, los botones florales, las flores abiertas, las flores muertas y los frutos, ya que se considera que estas variables permiten conocer si las plantas se encuentran en un medio óptimo para su crecimiento. Se registró la fenología de las plantas de tomate al principio dos veces por semana, y conforme las diferencias se mantenían más en el tiempo, este registro se realizaba una vez por semana. Ambas experiencias se mantuvieron durante el transcurso de 2 meses, desde el 23 de marzo hasta el 31 de mayo de 2023.

### 3.2 Fase de laboratorio

Se analizaron las propiedades físicas y químicas de los suelos experimentales una vez finalizada la fase experimental. Las variables analizadas fueron: Conductividad eléctrica (CE), pH, Nitrógeno (%), Ureasa, materia orgánica (MO%), la capacidad de campo del suelo en porcentaje (CC%), la estabilidad de los agregados (EA%) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC%), siguiendo las metodologías internacionales que se indican a continuación.

#### 3.2.1 Conductividad eléctrica del extracto (CE)

La Conductividad Eléctrica del extracto 1/5 fue evaluada utilizando el procedimiento propuesto por (Richards L., 1954). Este método mide la conductividad eléctrica del extracto de la dilución 1/5, empleando el conductímetro Crison micro-CM 2202 (Fig. 4). Para ello, pesan 5 g de muestra de suelo a los que se añaden 25 ml de agua destilada para obtener una dilución 1/5, que debe agitarse antes de medirse en el conductímetro. Los resultados se expresaron en unidades de decisiemens por metro (dS/m).



Figura 4. Conductímetro Crison micro-CM 2202 utilizado para medir la CE.

### 3.2.2 pH

La concentración de iones de hidrógeno se analiza empleando la electrometría, a través del uso del medidor de pH con ajuste automático de temperatura, Crison micro-pH 2001 (Fig. 5). Este proceso consiste en la colocación de los electrodos en contacto con la solución de extracto de pasta de saturación, de acuerdo con la metodología descrita por la USDA (2014), donde se pesan 10 g de la muestra de suelo y se añaden 25 ml de agua destilada, agitándose la mezcla antes de su medición en el pHmetro.

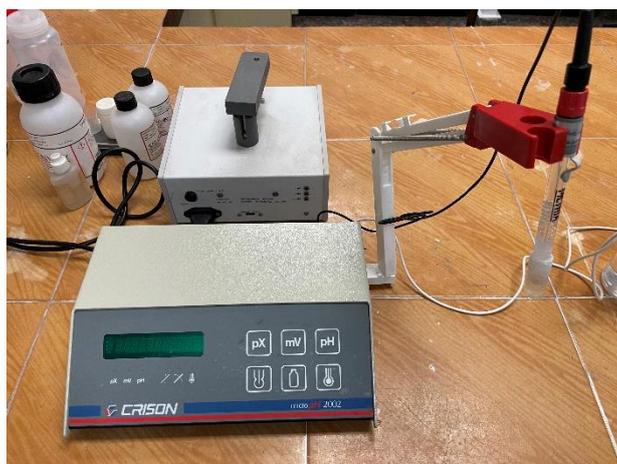


Figura 5. pHmetro Crison micro-pH 2001 utilizado para medir el pH.

### 3.2.3 Nitrógeno Kjeldahl

El método de Nitrógeno Kjeldahl se emplea para cuantificar el contenido de nitrógeno presente en muestras, tanto orgánicas como inorgánicas. Para lograr esto, se inicia con la digestión de la muestra, lo cual fragmenta los enlaces nitrogenados y transforma el nitrógeno orgánico en iones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Luego, se lleva a cabo la destilación (Fig. 6), en la cual los iones de amonio son convertidos en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) mediante la adición de un agente alcalino, como el hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ). En este proceso, el amoníaco es transportado al recipiente receptor gracias a un flujo de vapor de agua.

Por último, se completa la cuantificación realizando una valoración ácido-base. Esto se logra mediante la utilización de una solución estandarizada de ácido sulfúrico junto con una mezcla

de indicadores. En conjunto, este procedimiento permite determinar con precisión el contenido de nitrógeno presente en la muestra a partir de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{ml ácido valorante} - \text{ml blanco}) * N \text{ del ácido} * 1,4007}{\text{peso de la muestra en gramos}}$$



Figura 6. Imagen del instrumento utilizado para destilar las muestras.

### 3.2.4 Ureasa

Para conocer la actividad enzimática de la ureasa se pesan 2 gramos de la muestra de suelo en matraces pequeños, mientras se van pesando también en cuencos de porcelana 3 gramos de la misma muestra para calcular la humedad del suelo. A los matraces con las diferentes muestras se le añaden 8 ml de tampón fosfato y 2 ml de urea 6.4%, y se prepara un blanco con 8 ml de tampón fosfato y 2 ml de agua destilada. Todos los matraces se deben tapar con un film, agitarlos suavemente, y colocar al baño maría a 37°C (Fig. 7) durante 90 minutos. Una vez transcurrido el tiempo, se añaden 10 ml de CIK 2M a cada muestra y se vuelven a tapar para agitar durante 30 minutos suavemente en el agitador (Fig. 7). Por último, las muestras se filtran con un filtro de 125 mm y se destila el extracto en el destilador durante 3 minutos por muestra. El extracto debe extraerse en un matraz de 250 ml con 50 ml de ácido bórico y valorarse con ácido sulfúrico.



Figura 7. Máquina para el baño maría (derecha) y agitadores (izquierda).

### 3.2.5 Materia orgánica (MO)

Para cuantificar el contenido de Materia Orgánica (MO), se emplea el método de calcinación establecido por la USDA (2014), el cual implica la descomposición de la materia orgánica exponiéndola a altas temperaturas. Aproximadamente se añade 4 gramos de suelo tamizado en un recipiente de vidrio y se introducen en una mufla, donde se someten a una temperatura de 450 °C. Esta temperatura provoca la descomposición completa de cualquier material orgánico presente en la muestra de suelo. La diferencia entre el peso inicial y el peso final de la muestra, dividida por el peso inicial de la muestra, permite obtener el contenido de MO en forma de porcentaje.

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

### 3.2.6 Capacidad de campo (CC%)

La Capacidad de Campo (CC) de un suelo es la cantidad de agua que un suelo es capaz de almacenar después de ser saturado y dejado drenar de forma libre, evitando la evapotranspiración, y hasta que se estabilice el potencia hídrico (ONU, 2020.). Las muestras previamente tamizadas para asegurar la uniformidad se colocan en anillos en una bandeja de cerámica, y se saturan completamente con agua destilada antes de introducirse en una olla a baja presión (0,33 atm) para extraer el exceso de agua hasta alcanzar la capacidad de campo (Fig. 8). Esto se identifica ya que la olla deja de extraer agua de la bandeja con las muestras de suelo.

Alcanzada la Capacidad de Campo de las muestras, se extraen de la olla a presión y se anota su peso en húmedo, para seguidamente, introducir las en la estufa a 105°C durante un día para conocer su peso en seco. La CC se calcula como la diferencia entre estos dos pesos y se expresa en porcentaje.



Figura 8. Olla a baja presión donde se deja drenar el agua libremente de las muestras de suelo.

### 3.2.7 Estabilidad de agregados (EA%)

Se analiza la estabilidad de los agregados utilizando el método de tamizado en condiciones húmedas, según lo descrito por (Yoder, 1936) y Kemper y Rosenau (1986). Este procedimiento tiene como objetivo determinar la cantidad de agregados que conservaban su cohesión cuando se exponen a fuerzas de tamizado en un entorno con humedad.

Para llevar a cabo este proceso, se toman alrededor de 4 gramos de suelo tamizado y se depositan en un tamiz con un diámetro de 0,250 mm. A continuación, el tamiz se sumerge en un recipiente designado como "A" con 80 ml de agua destilada, y se aplica un movimiento mecánico de vaivén durante 3 minutos (Fig 9). Este movimiento genera la desintegración de los agregados más frágiles debido al impacto con la superficie acuosa.

Luego, se trasladan las muestras al recipiente "B", que contiene hexametafosfato de sodio 2 g/L, y se repite el movimiento mecánico durante 5 minutos para deshacer los agregados que mantienen su cohesión. Las partículas que quedan en el tamiz se transfieren lavándolo con agua destilada a otro recipiente, denominado "C".

Para concluir, los tres recipientes se someten a un proceso de secado en una estufa a una temperatura constante de 105°C durante 24 horas. Después del proceso de secado, se registra el peso seco de cada recipiente y se calcula la estabilidad de los agregados.



*Figura 9. Imagen del instrumento utilizado para tamizar las muestras de suelo en húmedo.*

### 3.2.8 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

El procedimiento realizado es el indicado por la FAO (2022), en el que primero deben pesarse 5 gramos de muestra de suelo, previamente tamizada, en un tubo de extracción. Una vez pesada dicha cantidad, se añaden 33 ml de acetato amónico 1N pH 7, se agita 15 minutos y se centrifuga durante 15 minutos a 1000 rpm, desechando el sobrenadante. Este paso debe repetirse 3 veces.

Tras los lavados con acetato amónico, la muestra de suelo debe lavarse con 50 ml de etanol al 96% dos veces, agitando y centrifugando 15 minutos a 1000 rpm entre lavados y desechando el sobrenadante.

El último lavado debe realizarse 3 veces con 33 ml de cloruro sódico al 10%, agitando y centrifugando 15 minutos a 1000 rpm, pero recogiendo el sobrenadante en un matraz aforado de 100 ml. Una vez realizados los 3 lavados se enrasa el matraz con NaCl 10% y se procede a destilar 50 ml de la solución y valorarlo con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o HCl 0.01N. Mediante la siguiente fórmula conocemos la CIC de cada muestra en meq/100g de suelo:

$$CIC = (HCl \text{ muestra} - HCl \text{ blanco}) * \text{concentración HCl} * \frac{100}{5} * \frac{100}{50}$$

### 3.2.9 Fenología

Las variables de fenología que se fueron la longitud del tallo en centímetros que se midió desde el nivel del suelo hasta el inicio de las últimas hojas del tallo; el número de hojas, consideradas como cualquier hoja en formación; todas las inflorescencias; el número de flores abiertas, todas aquellas totalmente abiertas; las flores muertas; las que estén marchitas y frutos nada más empiecen a formarse. Además, en cada corte se realizó un escaneado de todas las hojas, el tallo y las raíces (Fig. 2-83 Anexo 1) y se pesaron en húmedo y en seco.

En cuanto al desarrollo de las raíces, en cada corte se extraían del suelo y con ayuda de un pincel se limpiaban de todos los restos de tierra que quedaran para poder medirlas, pesarlas y posteriormente, escanearlas (Fig. 10).



Figura 10. Limpieza de raíces (izquierda) y colocación en el escáner (derecha).

### 3.3 Análisis estadístico

Tras los resultados obtenidos en las analíticas de laboratorio, se procede al análisis estadístico mediante el programa STATGRAPHICS Centurion 19. Los datos normales se han analizado mediante la herramienta ANOVA simple, que permite conocer las diferencias significativas entre las variables estudiadas en cada gráfica representada.

## 4 Resultados y discusión

### 4.2 Dinámica de Zytonic

A continuación se presentan los datos obtenidos para cada parámetro analizado en el laboratorio, la fenología y desarrollo radicular, sobre la dinámica que sufren los suelos de la primera experiencia, tras la aplicación o no, de la mezcla de Zytonic.

#### 4.2.1 Conductividad eléctrica (CE)

Según los resultados obtenidos para ambos tratamientos (Fig. 11), al tener un valor entre 0 y 0.98 dS/m, se considera que son suelos no salinos (USDA, 1999). Los suelos salinos pueden tener diferentes efectos sobre el crecimiento de las plantas, como la reducción de la absorción de nutrientes, lo que puede limitar su crecimiento y desarrollo (Grattan & Grieve, 1998); o las alteraciones en el equilibrio hídrico, afectando a la capacidad de las plantas para regular la entrada de agua, lo que puede provocar problemas de estrés hídrico (Munns & Tester, 2008).

Tabla 2. Mediciones e interpretación de la conductividad eléctrica 1/5.

CE (dS/m a 25°C)	Clase de salinidad
0-0.98	No salino
0.98-1.71	Muy ligeramente salino
1.71-3.16	Ligeramente salino
3.16-6.07	Moderadamente salino
> 6.07	Fuertemente salino

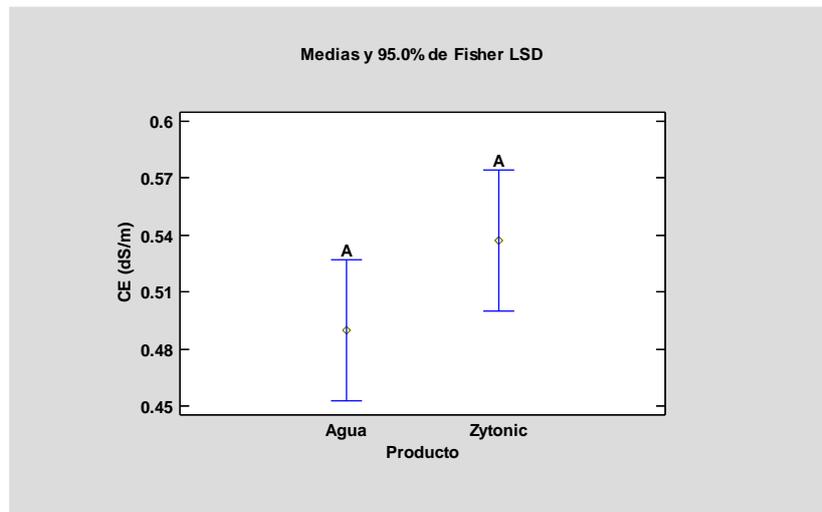


Figura 11. Medias de CE (dS/m) de las plantas tratadas con agua y Zytonic.

A pesar de que no se encuentran diferencias significativas entre ambos tratamientos, sí que se puede ver un ligero aumento de la conductividad eléctrica en las muestras tratadas con el bioestimulante Zytonic, aunque lejos de afectar de forma negativa al suelo. Este incremento no presenta problemas para la salud del suelo, ya que no representa un problema de salinidad la aplicación del bioestimulante. En el caso de los suelos regados únicamente con agua, los valores medios se encuentran en 0.49 dS/m, en cambio los suelos regados con Zytonic tienen una media de 0.54 dS/m. Este aumento también se observa en el estudio realizado por Fuertes-Mendizábal et al. (2021), donde la aplicación inicial de biofertilizante aumenta la CE del extracto del suelo.

A lo largo de los diferentes cortes (Fig. 12) sí se puede observar un aumento de la conductividad eléctrica los primeros cortes, mientras que conforme se acerca el último día de corte, los cambios entre ambos tratamientos se reducen y estabilizan. Esto puede ser porque la aplicación de Zytonic se realizó al principio de la experiencia, aportando las sales que se detectan en los primeros cortes y perdiéndose por sucesivos lavados con los riegos en los demás. Las interacciones a lo largo del tiempo se ha visto que no tienen relevancia puesto que ninguna propiedad tiene cambios significativos, por lo que únicamente se muestra en esta propiedad.

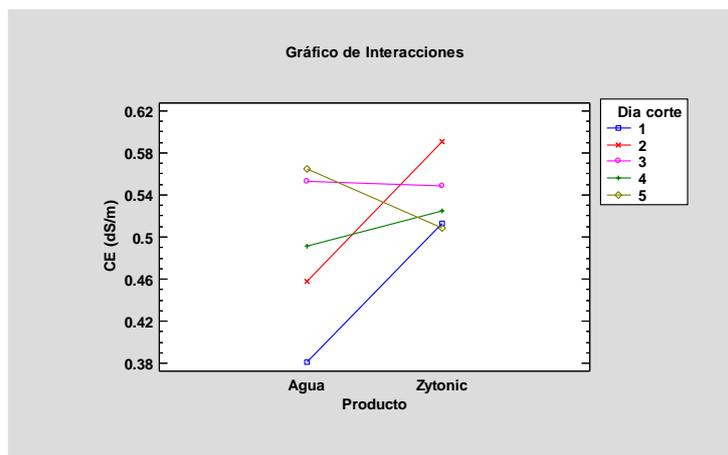


Figura 12. Evolución de la CE (dS/m) entre el tratamiento con y sin Zytonic.

#### 4.2.2 pH

El pH medio para los suelos tratados con agua y los tratados con Zytonic (Fig. 13) es de 8.18 y 8.21 respectivamente, lo que según García *et al.* (2010), se clasifican como suelos básicos o alcalinos con un pH alto. Estos suelos se caracterizan por la notoria presencia de carbonatos y una limitada disponibilidad de elementos esenciales para las plantas.

Las diferencias estadísticas entre los tratamientos no son significativas, obteniendo únicamente un 0.37% de diferencia entre ambos. En este caso también podemos apreciar un ligero aumento del pH en el suelo tratado por Zytonic, aunque despreciable. Este resultado indica que Zytonic tampoco provoca un aumento significativo del pH del suelo, por lo que no debería afectar su adición al suelo a la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Este resultado del ligero aumento de pH con la aplicación del producto coincide con el resultado obtenido por Karapouloutidou & Gasparatos (2019), donde observan un aumento con dos dosis diferentes de un bioestimulante, un producto derivado de un hongo.



Figura 13. Medias de pH de las plantas tratadas con agua y Zytonic.

#### 4.2.3 Nitrógeno total (%)

Los suelos con presencia de nitrógeno tienen diversos beneficios, entre ellos, estimula el crecimiento vegetal al promover la formación de hojas y la síntesis de clorofila, y aumenta el rendimiento de los cultivos al ser un nutriente esencial para la producción de biomasa y cosechas

de alta calidad (Marschner, 2011). Además, el nitrógeno está directamente relacionado con la cantidad de MO presente en la muestra de suelo, por lo que al aumentar la MO, también aumenta la proporción de formas nitrogenadas. La interpretación de los valores de nitrógeno total (tabla 3) en los suelos son:

Tabla 3. Interpretación del contenido de nitrógeno total en los suelos agrícolas (Método Kjeldahl) (Villarreal A., 1988).

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

Los valores de nitrógeno medios obtenidos (Fig. 14) para los tratamientos con agua y Zytonic son 0.05% y 0.06%, clasificándose en niveles muy bajos y bajos, respectivamente. Se puede observar un ligero aumento en los suelos tratados con Zytonic, aunque la diferencia entre ambos tratamientos es de un 11.11%. Este ligero aumento puede deberse a que la aplicación de Zytonic-NPK proporciona >10 ufc/g (*Azotobacter spp*) al suelo de bacterias fijadoras de nitrógeno, que pueden dar lugar a esta tendencia, ya que estas bacterias utilizan el gas nitrógeno atmosférico para la síntesis de proteínas celulares que se mineraliza en el suelo tras la muerte de las células de *Azotobacter spp*, contribuyendo así a la disponibilidad de nitrógeno de las plantas de cultivo (Patil et al., 2020).

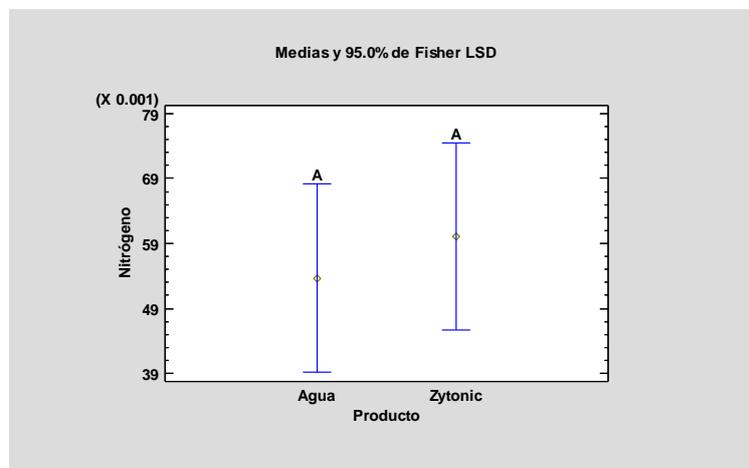


Figura 14. Medias de Nitrógeno total (%) de las plantas tratadas con agua y Zytonic.

#### 4.2.4 Ureasa

La actividad de la ureasa es ampliamente investigada, siendo una de las enzimas más estudiadas en conjunto con otro grupo de hidrolasas. Esto se debe a que estas enzimas desempeñan un papel fundamental en trabajos relacionados con la calidad del suelo, la fertilidad y el impacto de los contaminantes en el mismo. La importancia de esta actividad radica en su contribución al ciclo del nitrógeno y su relación con el uso de urea como fertilizante en la agricultura (Sastre et al., 1996)

Los valores medios de ureasa obtenidos han sido 12.13  $\mu\text{mol N-NH}_4/\text{g}$  para el tratamiento con agua y 13.48  $\mu\text{mol N-NH}_4/\text{g}$  para el Zytonic (Fig. 15). En este caso, el cambio entre ambos tratamientos es de un 11.13%, por lo que se puede considerar que ambos tratamientos tienen el mismo efecto sobre el suelo, aunque con una tendencia a aumentar con la aplicación de Zytonic. Según Antonius & Agustiyani (2011), la adición al suelo de biofertilizantes muestran un aumento de la actividad de la ureasa en comparación a suelos sin tratar. Esta diferencia en los resultados obtenidos puede deberse a la que la experiencia de Antonius & Agustiyani (2011) permaneció durante un tiempo más prolongado (5 años), por lo que esta experiencia puede haber sido demasiado corta para encontrar diferencias entre ambos tratamientos.

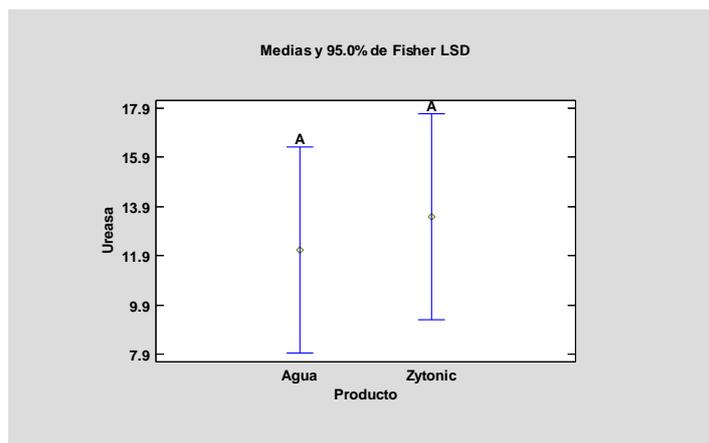


Figura 15. Medias de ureasa de las plantas tratadas con agua y Zytonic.

#### 4.2.5 Materia orgánica (MO%)

Los porcentajes obtenidos de materia orgánica son bajos para el suelo tratado con agua y normales para el tratado con Zytonic (Fig. 16), teniendo en cuenta que la textura del suelo se considera franca (Fig.x) (Saña et al., 1996). Los valores elevados de materia orgánica están correlacionados con una mayor estabilidad de los agregados, produciendo una menor compactación de los suelos (Soane, 1990), por lo que cuanto mayor sea esta, mejor podrá retener el agua disponible para las plantas y favorecer su óptimo crecimiento.

La media para los suelos tratados con agua es de 1.96, mientras que la de Zytonic es de 2.02, lo que solo representa un 3.06% de diferencia entre ambos. Lo que sí que podemos observar es que con la adición del mejorador de suelos, se consigue aumentar ligeramente la presencia de MO, debido al ligero aporte de esta en cada aplicación, por lo que si se alargara la experiencia en el tiempo, quizá sí se podrían observar cambios significativos entre los suelos tratados y los no tratados. Esto lo podemos observar en el trabajo realizado por Wu et al. (2005), donde la adición de biofertilizantes en base de micorrizas al cultivo durante 87 días, aumentan el contenido en materia orgánica en los suelos.

Tabla 4. Porcentaje de materia orgánica según la clase textural del suelo (Saña et al., 1996).

% Materia Orgánica	SUELO ARENOSO	SUELO FRANCO	SUELO ARCILLOSO
Muy bajo	0-1.75	0-1.75	0-2
Bajo	1.76-2.5	1.5-2	2-3
Normal	2.6-3.5	2-3	3-4
Alto	3.51-4.25	3-3.75	4-5
Muy alto	>4.25	>3.75	5

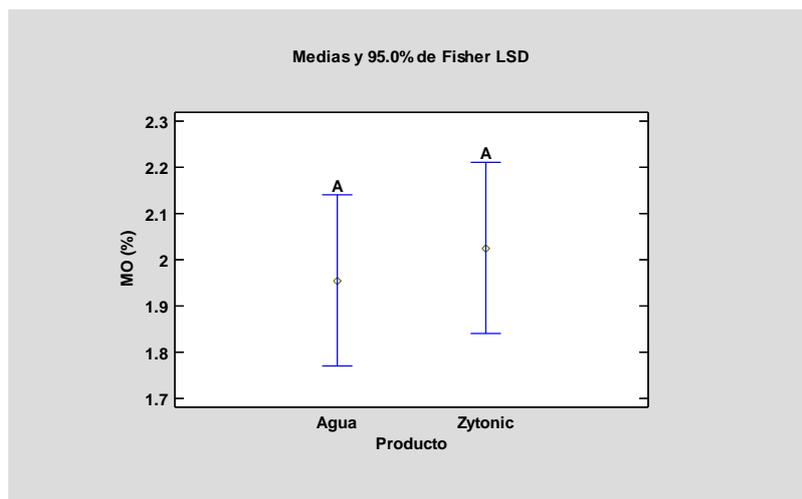


Figura 16. Medias de MO de las plantas tratadas con agua y Zytonic.

#### 4.2.6 Capacidad de Campo (CC%)

Los resultados en cuanto al porcentaje de capacidad de campo (Fig. 17) de cada suelo siguen sin mostrar diferencias significativas, con valores medios de 15,01% y 16,09% para el tratamiento con agua y con Zytonic respectivamente, lo que supone un 6.71% de diferencia entre ambos. La CC depende del tipo de suelo en el que se realice el estudio, en este caso se parte de un suelo franco con turba, por lo que los valores obtenidos, según la tabla propuesta por Israelsen & Hansen (1979) citada en el libro de Pascual España & Pascual Seva (2020), se encuentran por debajo de lo esperado para esta clase textural (Tabla 4).

Tabla 5. Capacidad de campo según las clases texturales de (Israelsen & Hansen, 1979) citado por Pascual España & Pascual Seva (2020).

Textura	Capacidad de Campo CC (%)
Arenosa	38
	(32-42)
Franco-arenosa	43
	(40-47)
Franca	47
	(43-49)
Franco-arcillosa	49
	(47-51)
Arcillo-arenosa	51
	(49-53)
Arcillosa	53
	(51-55)

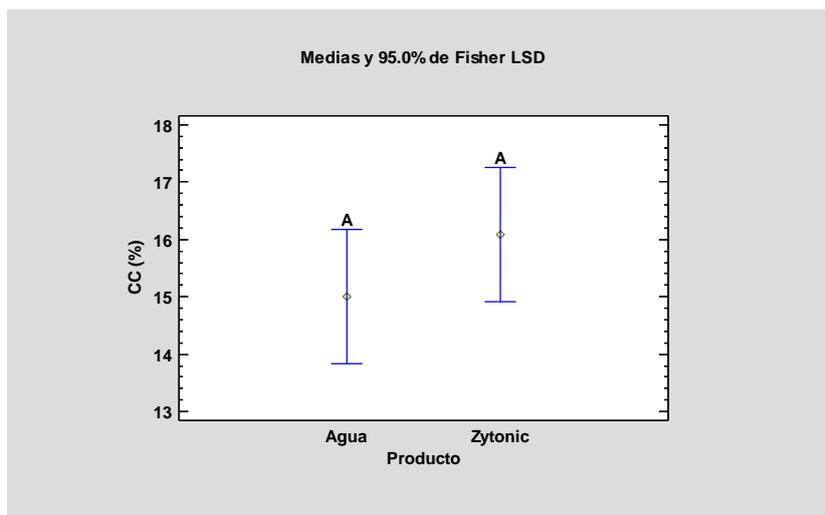


Figura 17. Medias de CC (%) de las plantas tratadas con agua y Zytonic.

Además, Bejar et al. (2020), también señalan que la capacidad de campo está estrechamente relacionada con la textura de un suelo, por lo que, en suelos con textura más fina o con una mayor MO, la retención de agua será mayor, explicando la ligera diferencia entre los suelos tratados únicamente con agua con los tratados con Zytonic donde, aunque la diferencia es muy poca, hay una tendencia mayor a retener el agua en los suelos con mayor MO. Abd El-Hamid et al. (2013) también reportan que con la aplicación de fuentes orgánicas se observa un aumento en el porcentaje de humedad retenida por el suelo.

#### 4.2.7 Estabilidad de agregados (EA%)

La estabilidad de agregados (EA) se considera un indicador sólido de la sostenibilidad del suelo, ya que es altamente receptiva a los cambios a corto plazo (Lal et al., 1997) y proporciona información esencial relacionada con los factores que influyen en la productividad de los cultivos y la sostenibilidad del suelo (Lal, 1994). Entre estos factores se incluyen los niveles de materia orgánica, la actividad biológica, la resistencia al rompimiento, la circulación de gases y nutrientes (Gelaw et al., 2015), el impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial, así como otras propiedades físicas relevantes (Ayuke et al., 2011).

El porcentaje medio de estabilidad de agregados (Fig. 18) es de 63.28% y 63.76% para los tratamientos de agua y Zytonic respectivamente, lo que según Florentino (1998), en ambos casos se trata de un nivel de agregación muy alto (Fig. 5), lo que puede favorecer a la retención de agua, coincidiendo con el aumento de la capacidad de campo de los suelos tratados con Zytonic. Esto está directamente relacionado con la aplicación de ácidos húmicos con Zytonic-M, lo que confiere al suelo una mejor agregación y por tanto, una mejor estructura y retención de agua. Este resultado también se observa en el trabajo de Zhu et al. (2021), donde la adición de materia orgánica favorece la estabilidad de los agregados en un periodo de 2 años, por lo que posiblemente si aplicáramos Zytonic durante más tiempo, la tendencia sería a aumentar la estabilidad de los agregados. Otros estudios como el de Rivera-Cruz et al. (2008), también confirman que la aplicación de bioestimulantes mejora la estabilidad de los agregados del suelo.

Tabla 6. Estabilidad de los agregados al agua (%) (Florentino, 1998).

Nivel	Agregados estables al agua con diámetro >1 mm
Muy alta	>60
Alta	40-60
Media	20-40
Baja	10-20
Muy baja	<10

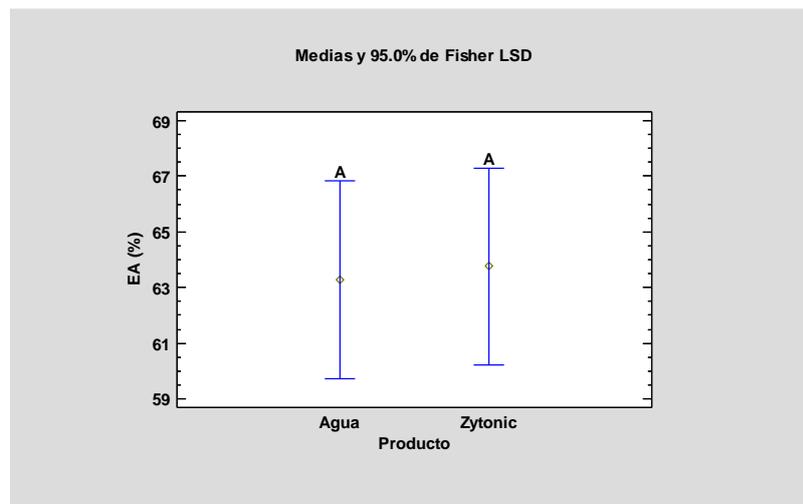


Figura 18. Medias de la estabilidad de agregados (%) de las plantas tratadas con agua y Zytonic.

#### 4.2.8 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC%)

El índice de CIC refleja la capacidad de los suelos para retener cationes, así como la disponibilidad y cantidad de nutrientes para las plantas, junto con su potencial de pH, entre otros factores. Un suelo con un bajo nivel de CIC señala una habilidad reducida para retener nutrientes, indicando que es arenoso o carece de materia orgánica en cantidades significativas (FAO, 2022).

La media de la capacidad de intercambio catiónico para ambos tratamientos (Fig. 19) es de 11.09% y 10.54%, para la aplicación de agua y mejorador de suelos Zytonic respectivamente. La diferencia entre ambos tratamientos es de 5.26%, por lo que se considera despreciable. Según Villarroel A. (1988), estos niveles de CIC se consideran bajos, un suelo pobre que necesita mayores aportes de materia orgánica para permitir una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo que coincide con los bajos niveles generales de MO observados en las analíticas anteriores.

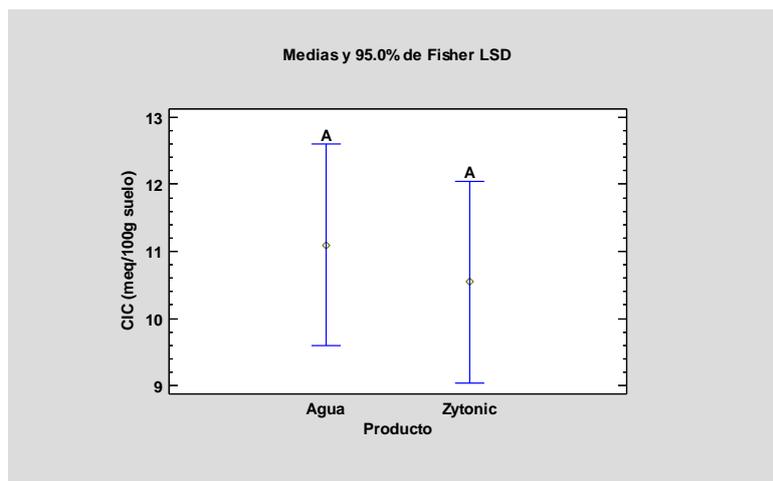


Figura 19. Medias de CIC (%) de las plantas tratadas con agua y Zytonic.

Es posible que la CIC aumente más en los suelos tratados únicamente con agua por el hecho de que la disponibilidad de nutrientes es más reducida conforme mayor es el pH, por lo que el agua al tener un pH ligeramente menor, puede producir esa tendencia a una mayor CIC que la que observamos para el tratamiento con Zytonic, que tiene un pH mayor. Al igual que en la experiencia con diferentes biofertilizantes de Sembiring et al. (2020), la aplicación no conduce a cambios significativos en la CIC, incluso en algunos casos esta puede disminuir en comparación con los no tratados, teniendo en cuenta que se trata de una única aplicación del bioestimulante.

#### 4.2.9 Fenología

Los datos analizados para la fenología no sugieren diferencias significativas en ningún parámetro, sin embargo, sí se puede apreciar un aumento de la producción de las plantas que contienen el tratamiento con Zytonic, como podemos observar en la figura 20. Este aumento del cuajado de los frutos se puede observar a partir del tercer corte (Tabla 4 del Anexo 2). El aumento de la producción de la planta de forma precoz con la aplicación de mezclas de Zytonic también se observa en el trabajo realizado por D. K. A. Al-Taey et al. (2021), ya que contribuyen al reequilibrio de los nutrientes en la solución del suelo, favoreciendo la producción.

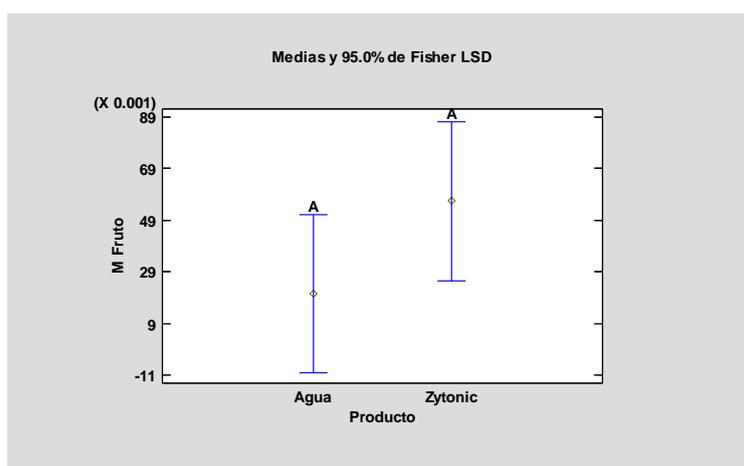


Figura 20. Medias del número de frutos (M Fruto) de las plantas tratadas con agua y Zytonic.

El número de flores, las flores abiertas y las muertas (Fig. 21 y 22) es mayor en las plantas tratadas únicamente con agua. A pesar de que esta diferencia es mínima, este hecho puede

sugerir que las plantas tratadas con el mejorador de suelos Zytonic tienen un cuajado más rápido que a las que únicamente se les aplica agua, asegurando una cosecha más temprana.

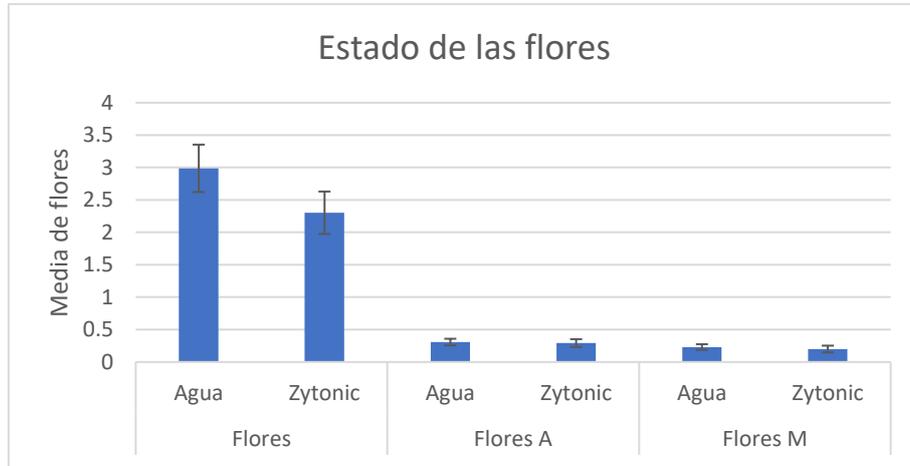


Figura 21. Comparación de la media de flores (Flores), flores abiertas (Flores A) y flores muertas (Flores M) entre tratamientos de agua y Zytonic.



Figura 22. Comparación del número de frutos con el tratamiento con agua (izquierda) y el de Zytonic (derecha).

En cuanto a la humedad radicular (Fig. 23), los valores medios para las plantas tratadas con agua son ligeramente superiores que las tratadas con el mejorador de suelos, con valores de 3.28 ml y 3.18 ml para los tratamientos de agua y Zytonic respectivamente, representando únicamente un 3.14% de diferencia entre ambos.

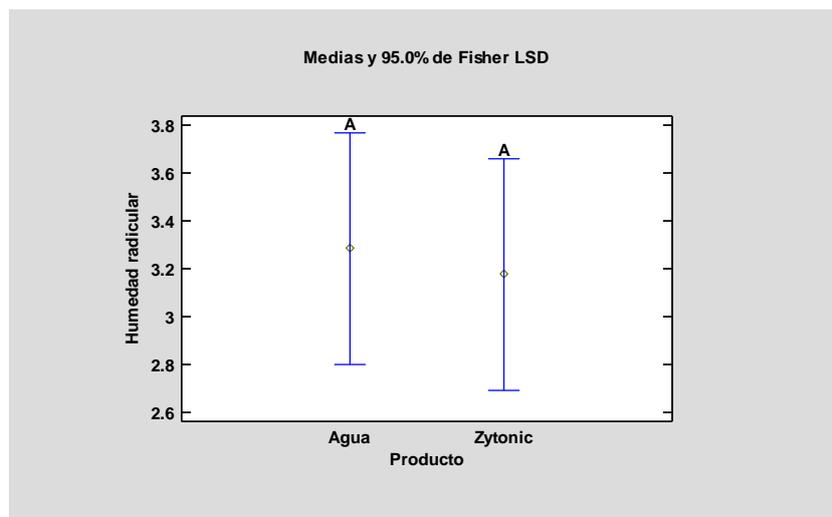


Figura 23. Medias de la humedad radicular (ml) de los tratamientos con agua y Zytonic.

De la misma forma, se puede observar que el crecimiento de las raíces es ligeramente mayor con el tratamiento con agua que con el mejorador de suelos (fig. 24), con una media de 26.41 cm y 25.32 cm respectivamente (tabla 4). El porcentaje de diferencia entre ambos tratamientos es de un 4.30%, por lo tanto no se considera significativo. Este resultado no coincide con lo que demuestran Amin et al. (2013) y Prasad et al. (2017), posiblemente porque el corto periodo en el que se realiza la experiencia no es suficiente para observar un aumento en el crecimiento de las raíces de las plantas tratadas con Zytonic.



Figura 24. Comparación de raíces en sustrato con (izquierda) y sin (derecha) el mejorador de suelos Zytonic.

Tabla 7. Medias obtenidas de la longitud de las raíces y la humedad.

Número	Producto	Raíz (cm)	Humedad
28	Agua	26.000	4.943
19	Agua	37.100	5.920
3	Agua	24.000	5.056
20	Zytonic	28.500	4.508
40	Zytonic	23.300	3.866
11	Zytonic	28.000	5.099

El desarrollo de la parte aérea fue ligeramente mayor en los tratamientos de Zytonic, tanto en el número de hojas por planta, como en la longitud del tallo (Fig. 25 y 26). La media de hojas y la altura del tallo en el suelo tratado con agua fue de 6.31 hojas y 9.86 cm, mientras que en los suelos con Zytonic fue 6.52 hojas y 10.44 cm. Esta tendencia a una mayor altura (cm) y área foliar con la aplicación de Zytonic también se puede observar en el trabajo de D. Al-Taey et al. (2022). Este resultado además se observa en la experiencia de Ismail & Obeid (2023), donde diferentes dosis del bioestimulante aumentan el crecimiento de la parte aérea de la planta.

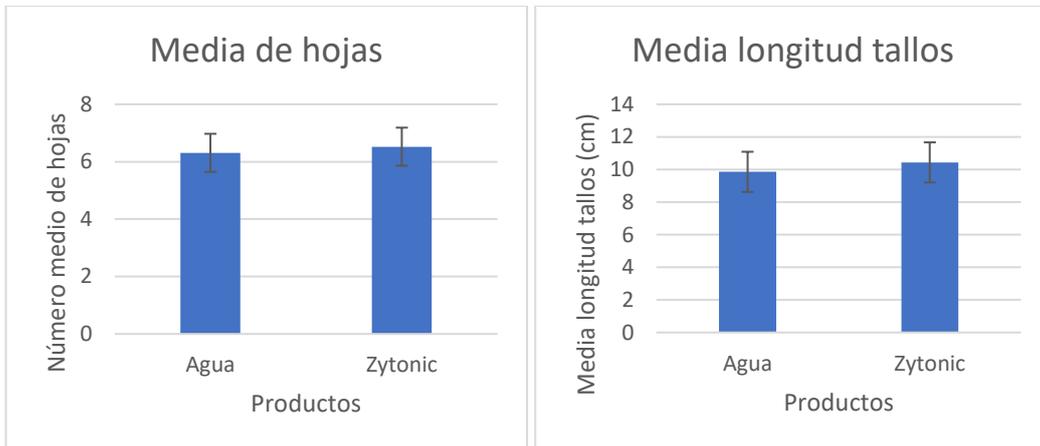


Figura 25. Comparación de la media del número de hojas (M hojas) y longitud del tallo (M tallo) entre los suelos tratados con agua y con Zytonic.



Figura 26. Comparación de la longitud y el número de hojas para el tratamiento con agua (izquierda) y el tratamiento con Zytonic (derecha).

### 4.3 Optimización de Zytonic

A continuación se presentan los datos obtenidos para cada parámetro analizado en el laboratorio, la fenología y desarrollo radicular, sobre la optimización del mejorador de la mezcla de Zytonic, aplicado en diferentes dosis iniciales y de refuerzo en los suelos de la segunda experiencia.

#### 4.3.1 Conductividad eléctrica (CE)

Mediante el análisis estadístico de las diferentes dosis iniciales, una menor a la recomendada por el fabricante (13.5 ml/L), la recomendada (45 ml/L) y una superior (67.5 ml/L), se comprueba que cuanto mayor sea la dosis aportada al suelo (Fig. 27), mayor es la CE (dS/m), debido a la composición del Zytonic con el aporte de sales. En este caso, el valor de CE para todas las dosis iniciales sigue considerándose bajo, por lo que el aumento no supondría un problema para la producción, con valores de 0.61 dS/m, 0.65 dS/m y 0.68 dS/m para las dosis de 15, 50 y 75 respectivamente. La diferencia entre la dosis más alta y la más baja es de un 11.48%, lo que indica un ligero aumento de una respecto a la otra. Este aumento también se observa en estudios como el que realizaron Shen et al. (2013), donde la aplicación de un biofertilizante al suelo aumentó características como la CE de la solución del suelo, debido a la incorporación de las sales con la aplicación del producto.

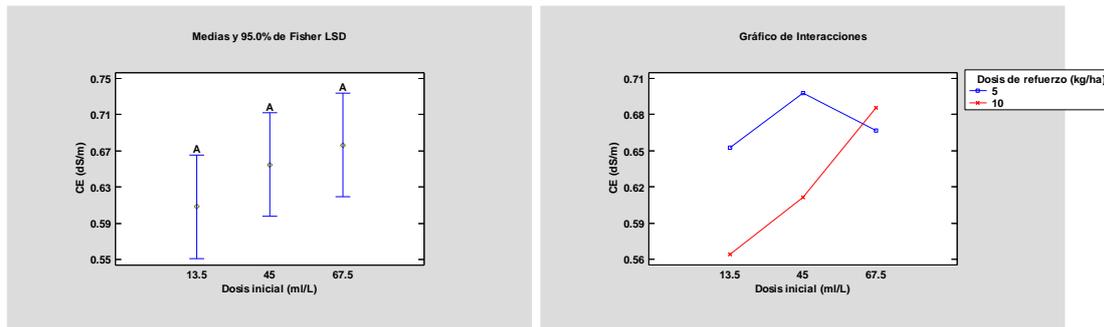


Figura 27. Medias de la conductividad eléctrica añadiendo al suelo diferentes dosis iniciales (izquierda) y relación entre las dosis iniciales y de refuerzo (derecha).

En cuanto a la relación de las diferentes dosis de refuerzo con las dosis iniciales (Fig. 27), se observa que a dosis inicial de 13.5 ml/L y a 45 ml/L, la conductividad eléctrica aumenta conforme menor es la dosis de refuerzo. Las medias para las diferentes dosis de refuerzo de la dosis inicial de 13.5 ml/L son 0.65 dS/m y 0.56 dS/m, para la dosis de 5 kg/ha y 10 kg/ha respectivamente. Para la dosis inicial de 45 ml/L las medias obtenidas son 0.70 dS/m y 0.61 dS/m, para 5kg/ha y 10 kg/ha respectivamente.

#### 4.3.2 pH

Al contrario de lo que se observa con las diferentes dosis iniciales (Fig. 28) de la conductividad eléctrica, el pH aumenta conforme disminuye la dosis de Zytonic. Se encuentran dos grupos homogéneos para las dosis de 50 y 75, con una media de 8.05 y 8.04 respectivamente, en cambio, la dosis de 15 muestra diferencias significativas con una media de 8.27. La diferencia porcentual entre la dosis de 15 y la de 50 representa un 2.73%. Es importante considerar que una aplicación inicial de 15 puede suponer un aumento significativo del pH, lo que en suelos muy básicos puede suponer un problema aun mayor para la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Posiblemente esto se debe por la descomposición de la MO por los microorganismos incorporados con la aplicación de Zytonic, que liberan ácidos orgánicos, favoreciendo la disminución del pH cuanto mayor es la dosis inicial administrada al suelo. En trabajos como el de B. Shen et al. (2020), también se observa que tras 4 estaciones de aplicación del biofertilizante, el valor de pH del suelo aumentaba en comparación con los suelos control durante todo el periodo de estudio.

La comparación del pH a diferentes dosis iniciales con diferentes dosis de refuerzo muestra que a menor dosis inicial (13.5 ml/L), mayor pH en la muestra, con medias de 8.27 y 8.28 para la dosis de refuerzo 5 kg/ha y 10 kg/ha. Además ambas dosis de refuerzo tiene una tendencia a

disminuir el pH conforme más producto inicial se añade. Tanto en la dosis inicial, como en la dosis de refuerzo, el pH del suelo se mantiene en un rango de 8.0-8.5, lo que al igual que se indica en la experiencia anterior, se considera un suelo básico o alcalino con un pH alto (García *et al.*, 2010).

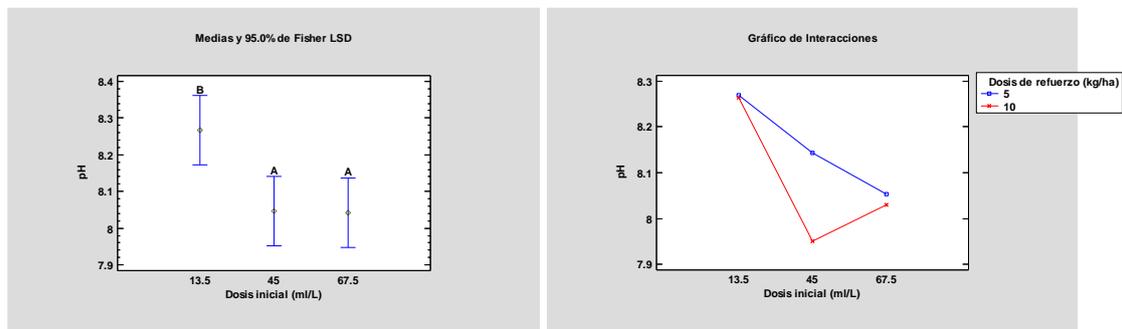


Figura 28. Comparación del pH a diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales con las dosis de refuerzo (derecha).

#### 4.3.3 Nitrógeno (%)

Los valores de nitrógeno para las diferentes dosis iniciales (Fig. 29) se mantienen en un rango de 0.017 y 0.026, sin diferencias entre los tres tratamientos, aunque como en el pH, el tratamiento con la menor dosis de Zytonic tiene una tendencia a presentar un mayor porcentaje de nitrógeno en el suelo. Las dosis con una tendencia a aumentar el nitrógeno deben considerarse positivas por la importancia de este elemento sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este aumento de la disponibilidad de nitrógeno en suelos tratados con biofertilizantes con microorganismos también se demuestra en el estudio realizado por Wang *et al.* (2018), donde se observa un aumento del nitrógeno asimilable 6 días después de la aplicación.

La relación entre las dosis iniciales y de refuerzo demuestra que dosis mayores y menores a la recomendada por el fabricante aportan niveles mucho mayores de nitrógeno para el suelo, con valores medios de 0.03% (5 kg/ha) y 0.02% (10 kg/ha) para la dosis inicial de 13.5 ml/L, y 0.03% (5 kg/ha) y 0.02% (10 kg/ha) para la dosis inicial de 67.5 ml/L

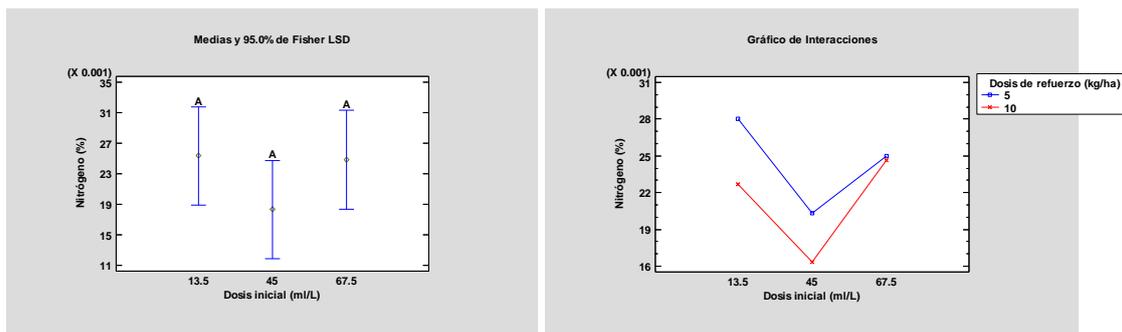


Figura 29. Comparación de la cantidad de nitrógeno en el suelo de las diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y las de refuerzo (derecha).

#### 4.3.4 Ureasa

La figura 30 muestra como con un aumento en la dosis inicial de Zytonic aplicada, la actividad de la ureasa aumenta, con medias de 1.45  $\mu\text{mol N-NH}_4/\text{g}$ , 2.50  $\mu\text{mol N-NH}_4/\text{g}$  y 2.65  $\mu\text{mol N-NH}_4/\text{g}$  para las dosis de 13.5 ml/L, 45 ml/L y 67.5 ml/L respectivamente. Este progresivo aumento está relacionado con la adición de MO, ya que según Zantua *et al.* (1977), al aumentar la MO aumenta a su vez la actividad enzimática de la ureasa para mineralizarla. La adición de

microorganismos como los que incluye el producto Zytonic, aumenta la actividad enzimática, como ocurre también en la experiencia realizada por Ji et al. (2020), donde la actividad de la enzima ureasa se ve potenciada por la adición de biofertilizantes con microorganismos.

En cuanto a la relación entre las dosis iniciales y las dosis de refuerzo, la dosis recomendada (45 ml/L) tiene un efecto positivo sobre la actividad de la ureasa en la dosis de refuerzo de 10 kg/ha, con una media de 4.40  $\mu\text{mol N-NH}_4/\text{g}$ , mientras que ocurre todo lo contrario para la dosis reducida (5 kg/ha), con una media de 0.59  $\mu\text{mol N-NH}_4/\text{g}$ , representando una diferencia de un 645.76% entre ambos valores. Sin embargo, en las dosis iniciales superior e inferior, esta tendencia es inversa, observando mayores valores de ureasa para la dosis de refuerzo de 5kg/ha, con un valor de 2.33  $\mu\text{mol N-NH}_4/\text{g}$  (13.5 ml/L) y 2.88  $\mu\text{mol N-NH}_4/\text{g}$  (67.5 ml/L).

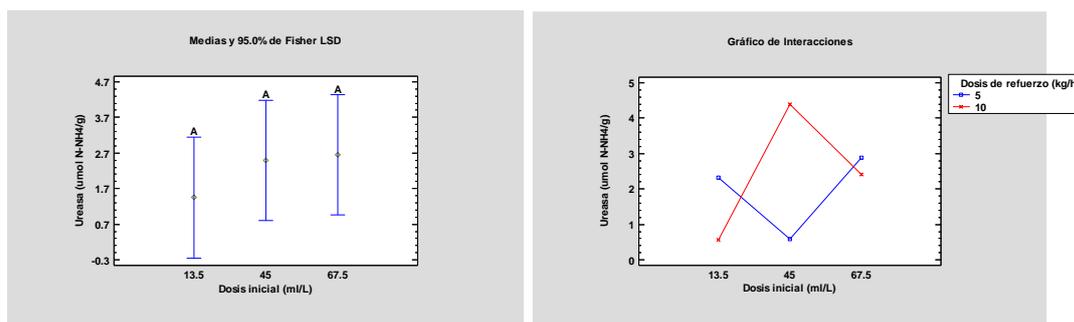


Figura 30. Comparación de la ureasa para las diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y de refuerzo (derecha).

Por lo tanto, se entiende que la actividad enzimática de la ureasa se ve favorecida por una dosis más pequeña del producto Zytonic, lo que implica que no necesariamente se necesita una dosis elevada del producto para obtener resultados favorables para los microorganismos del suelo y por tanto, todos los factores relacionados con su presencia.

#### 4.3.5 Materia orgánica (MO%)

Los datos obtenidos para las diferentes dosis iniciales (Fig. 31) muestran una disminución de la MO conforme la dosis aplicada aumenta, con medias de 1.78%, 1.70% y 1.63% para las dosis de 13.5 ml/L, 45 ml/L y 67.5 ml/L respectivamente. Esta disminución progresiva coincide con el aumento de la actividad enzimática de la ureasa, lo que explicaría que a pesar de añadir MO al suelo con mayores dosis iniciales, esta es mineralizada mucho más rápido por la enzima ureasa, disminuyendo su valor. Bhandari et al. (2020) reportan que cuanto más materia orgánica fácilmente mineralizable esté disponible en el suelo, más rápido disminuye el valor de la materia orgánica, coincidiendo con los resultados obtenidos del porcentaje de materia orgánica a dosis más elevadas (Fig. 31).

En el caso de la dosis de refuerzo de 5 kg/ha también sigue la misma tendencia, ya que aplicada a dosis iniciales menores aumenta (2.04%) en relación a las dosis iniciales más elevadas (1.77%). Sin embargo, la dosis de refuerzo recomendada (10 kg/ha) tiene este ligero aumento, coincidiendo con la dosis inicial recomendada (45 ml/L), con una media de 1.57%.

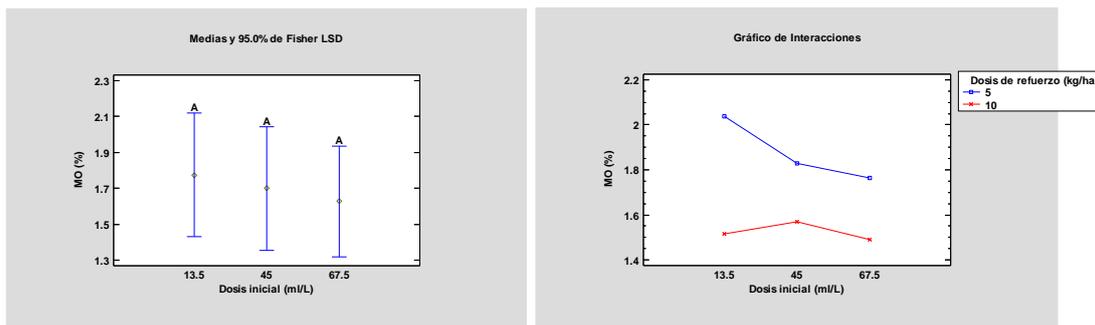


Figura 31. Comparación de la MO (%) con diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y las dosis de refuerzo (derecha).

#### 4.3.6 Capacidad de Campo (CC%)

Los valores de la CC tienden a aumentar conforme aumenta la dosis inicial añadida (Fig. 32), con valores medio de 12.52% para la dosis de 13.5 ml/L y 13.68% para la de 67.5 ml/L con una diferencia entre ambos valores extremos de un 9.27%. Esta tendencia podría explicarse debido a que la liberación de exudados por la mineralización de la MO permite una mejor estructura, que a su vez mejora la retención de agua del suelo. En el estudio realizado por Serrano Hidalgo (2021), también se puede observar que Zytonic aumenta de forma significativa la capacidad de campo de los suelos, lo que corrobora el efecto positivo de este producto sobre la capacidad de retención de agua. Además, según lo que afirman otros autores como Riaz et al. (2020), los biofertilizantes actúan como acondicionadores de suelo, estructurando el suelo y por consiguiente, la retención de agua por un aumento de la capacidad de campo del suelo.

Por otra parte, la relación que presentan las dosis iniciales con las dosis de refuerzo también tienen una tendencia al aumento conforme estas se aplican a dosis iniciales más altas, con medias de 13.82% y 13.54% para la dosis de 67.5 ml/L. La dosis de refuerzo reducida (5 kg/ha) tiene una ligera tendencia a aumentar más la CC en comparación con la dosis recomendada (10 kg/ha).

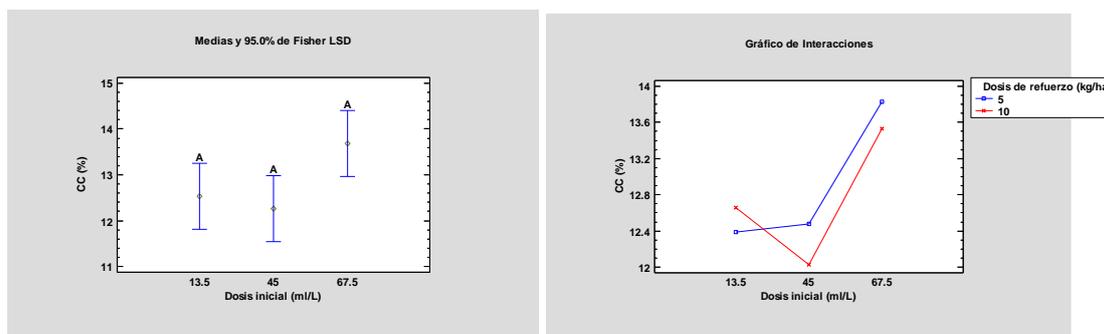


Figura 32. Comparación de la CC (%) con diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y las de refuerzo (derecha).

#### 4.3.8 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico aumenta progresivamente conforme aumenta la dosis inicial de Zytonic (Fig. 33) con valores medios de 8.58 para la dosis de 15, 12.46 para la de 50 y 14.73 para la de 75, con diferencias significativas entre la dosis inferior y la más alta. Mahanta et al. (2014) reportan que la aplicación de diferentes fertilizantes orgánicos aumentan la CIC del suelo, además, muestran una correlación positiva entre el nitrógeno, la CIC y la CE.

La misma tendencia siguen las diferentes dosis de refuerzo aplicadas a las dosis iniciales (Fig. 33), destacando un ligero aumento de la CIC con una dosis de refuerzo de 5 kg/ha. Esta tendencia puede estar relacionada con la liberación de cationes al medio con la mineralización de la MO y el aumento de la actividad enzimática de la ureasa, explicando el aumento progresivo de la CIC.

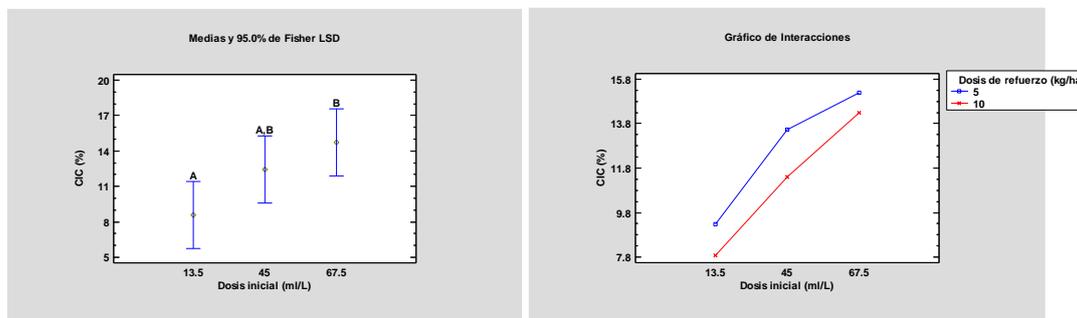


Figura 33. Comparación de la CIC (%) con diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y las de refuerzo (derecha).

Además, si se comparan las 5 dosis iniciales (Fig. 34), se puede observar que la dosis de 15 tiene una menor capacidad de intercambio catiónico, con un valor de 8.64%, en cambio, las dosis de 27 ml/L, 52.5 ml/L y 67.5ml/L muestran un aumento significativo en relación a la dosis de 15, con valores de 14.83%, 14.19% y 14.73% respectivamente.

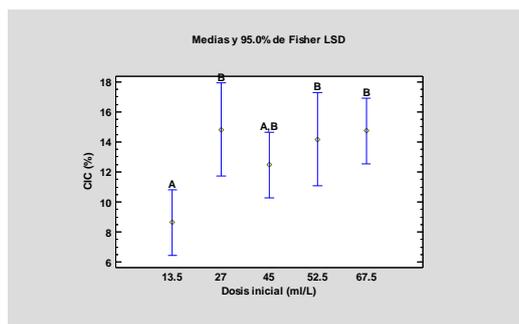


Figura 34. Comparación de la CIC (%) con diferentes dosis iniciales de Zytonic.

#### 4.3.9 Fenología

El número de hojas en todas las muestras sigue un patrón similar, sin embargo, se puede observar (Fig. 35) un aumento en la dosis inicial más reducida, con valores medios de 7.85, 7.33 y 7.28 para las dosis de 15, 50 y 75 respectivamente. La relación entre las dosis de refuerzo y las dosis iniciales indican una dosis de refuerzo menor (5 kg/ha) tiene un efecto mayor a dosis inicial 45 ml/L, con una media de 7.90 hojas, mientras que la dosis recomendada (10 kg/ha) tiene un efecto mucho mayor en la dosis inicial de 13.5 ml/L, con una media de 8.54 hojas. En el estudio realizado por Ason et al. (2014), el desarrollo de las hojas de los cultivos tampoco se vio favorecido por la aplicación de Zytonic en una dosis mayor a la recomendada por el fabricante.

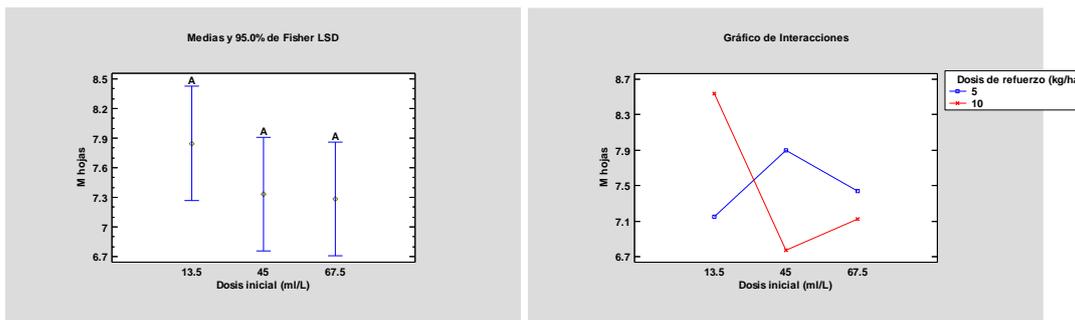


Figura 35. Comparación del número de hojas (M hojas) para cada dosis inicial (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y las de refuerzo (derecha).

En cuanto a la longitud del tallo, en este caso también podemos observar (Fig. 36) un ligero aumento del crecimiento de la dosis inicial más baja de Zytonic. Las dosis de refuerzo tienen una tendencia similar, aunque con un efecto mayor sobre la longitud del tallo con la dosis de refuerzo reducida (5 kg/ha). En la experiencia realizada por Wu et al. (2005) también se puede observar que la dosis reducidas del biofertilizante a base de hongos aumentan el crecimiento de las plantas.

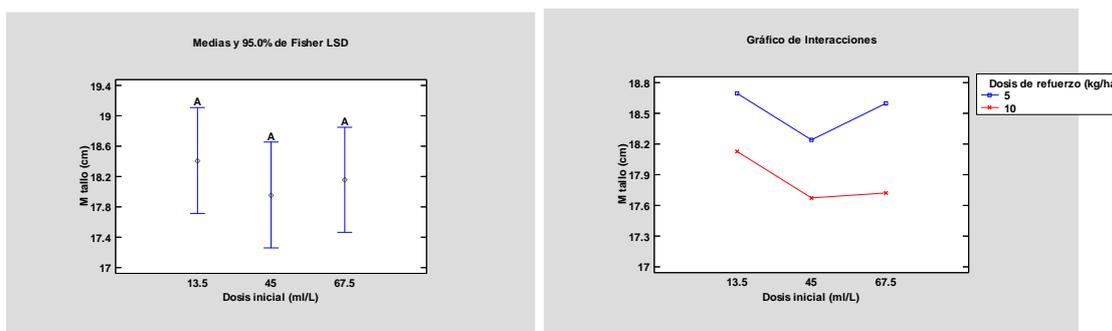


Figura 36. Comparación de la longitud en centímetros del tallo (M tallo) para cada dosis inicial (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y de refuerzo (derecha).

El desarrollo de la parte aérea (Fig. 37) también destaca un mayor crecimiento del número de flores e inflorescencias con la aplicación inicial de dosis más bajas, con una media de 4.97 flores para la dosis de 13.5 ml/L, 4.94 flores para la dosis de 45 ml/L y 4.38 flores la dosis de 67.5 ml/L.

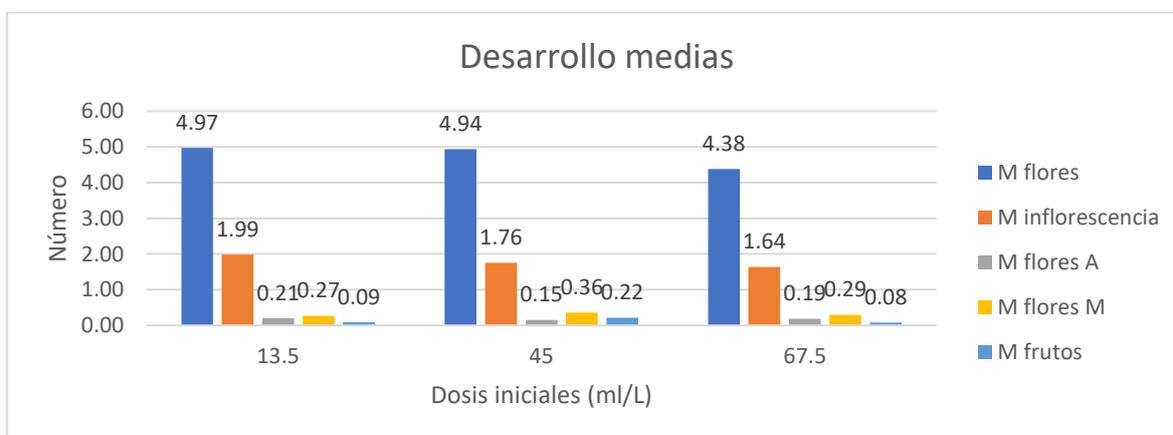


Figura 37. Comparación de las diferentes dosis iniciales de Zytonic con la media de inflorescencias (M inflorescencia), flores (M flores), flores abiertas (M flores A.), flores muertas (M flores M.) y frutos (M frutos).

Por otra parte, la longitud de las raíces muestra un aumento en las dosis iniciales más bajas (Fig. 38), con una media de 31.25 cm para la dosis de 13.5 ml/L, 27.67 cm para la dosis de 45 ml/L y 26 cm para la de 67.5 ml/L. Aunque estas dosis no tiene diferencias significativas entre ellas, con un porcentaje de diferencia entre la dosis menor y mayor (13.5 ml/L y 67.5 ml/L) de 20.19%, sí que se observa una tendencia al aumento con dosis inferiores.

Las dosis de refuerzo siguen una tendencia igual a la de las diferente dosis iniciales, donde una dosis inferior presenta una tendencia a aumentar la longitud de las raíces con una media de 32.33 cm para la dosis de 5 kg/ha y 30.17 cm para la dosis de 10 kg/ha, con una diferencia entre ambos valores de 7.16%.

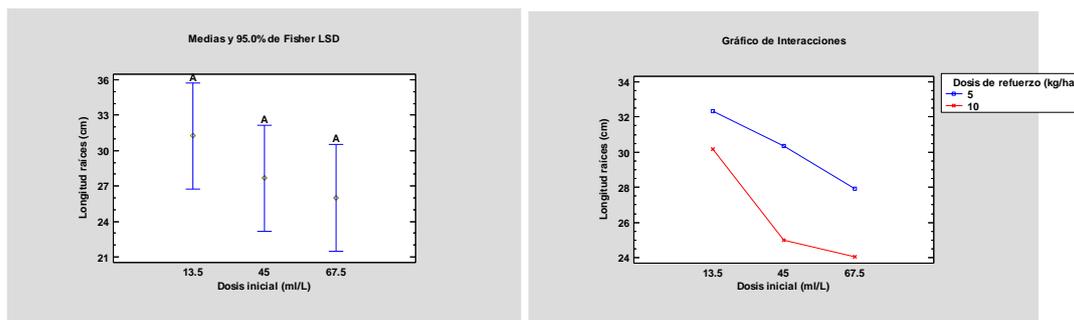


Figura 38. Comparación de la longitud de las raíces (cm) con las diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y de refuerzo (derecha).

Sin embargo, si se observa la retención de humedad de las raíces (Fig 39), esta sigue una tendencia inversa al crecimiento en longitud, pues las raíces que más humedad retienen son las que tienen dosis iniciales mayores, con medias de 5.65 ml para la dosis de 75, 5.34 ml la dosis de 50 y 4.86 ml la de 15. No muestran diferencias significativas entre las diferentes dosis, con un porcentaje de diferencia de 16.26% entre la dosis más alta (75) y la más baja (15).

La misma tendencia siguen las dosis de refuerzo, destacando el aumento de la humedad con una dosis inicial de 67.5 ml/L, con una media de 5.63 ml para la dosis de 5 kg/ha y 5.67 ml para la dosis de 10 kg/ha. En el caso de aplicar la dosis de refuerzo sobre una dosis inicial de 45 ml/L, sí que se observa un aumento de la humedad radicular con la dosis de refuerzo de 5 kg/ha, con una media de 5.48 ml frente a los 5.19 ml de la dosis de 10 kg/ha. Este aumento de la humedad retenida en las raíces con la aplicación de biofertilizantes con microorganismos coincide con el estudio realizado por Saad et al. (2023). El aumento de la humedad retenida en las raíces puede estar relacionado con la disminución del crecimiento, pues al tener más humedad no necesitan un crecimiento mayor para suministrar nutrientes y agua necesarios para un correcto crecimiento.

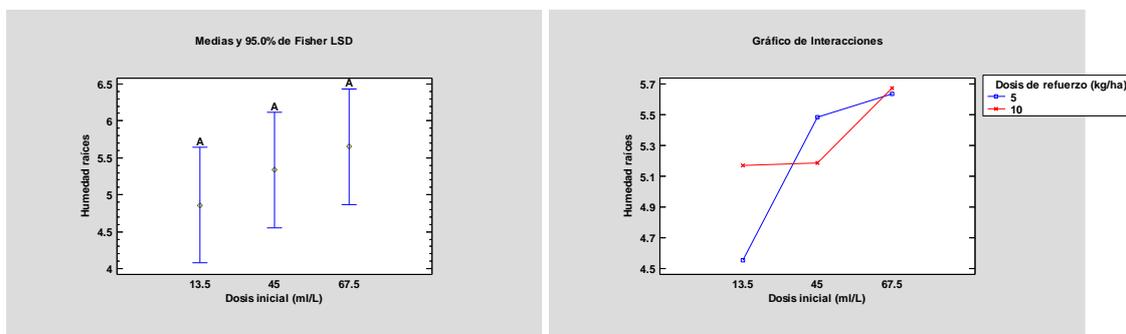


Figura 39. Comparación de la humedad de las raíces (ml) con las diferentes dosis iniciales (izquierda) y la relación entre las dosis iniciales y de refuerzo (derecha).

## 5 Conclusiones

A modo de conclusiones, en general, los resultados no muestran diferencias significativas entre tratamientos, que junto con las revisiones bibliográficas sugieren que la experiencia al ser tan reducida (2 meses), no ha podido presentar cambios significativos. Esta experiencia debería aplicarse durante todo el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*) para poder comprobar realmente qué cambios produce la aplicación de Zytonic sobre el suelo y sobre todas las variables analizadas.

En cuanto al desarrollo fenológico y radicular, en la primera experiencia se observa una tendencia al aumento en la producción y el desarrollo de la parte aérea de las plantas tratadas con Zytonic, sin embargo, el sistema radicular de estas plantas es ligeramente inferior al de las plantas sin el tratamiento Zytonic, debido al corto período en el que se desarrolla. En la segunda experiencia se observa una tendencia a un mayor número de hojas, longitud del tallo y número de flores en las dosis iniciales de 13.5 ml/L pero sin mostrar diferencias significativas entre las diferentes dosis aplicadas. Al igual ocurre con las raíces, se desarrollan más a dosis iniciales más bajas, a pesar de ello, la humedad de las raíces aumenta conforme aumenta la dosis inicial, entendiendo que cuanto mayor sea la humedad, menor debe ser el desarrollo radicular debido a que la planta puede adquirir nutrientes y humedad necesarios en un menor espacio.

Los cambios producidos sobre el suelo con la aplicación de Zytonic en la primera experiencia tampoco muestran cambios significativos entre tratamientos, aun así, también se puede observar una tendencia a un aumento de todos los parámetros analizados con la aplicación del producto, a excepción de la CIC, que posiblemente se deba a la falta de nutrientes aportados a lo largo de la experiencia. Por otro lado, la segunda experiencia demuestra que una aplicación inicial de Zytonic por encima de la recomendada por el fabricante, produce una mayor mineralización a través de la enzima ureasa que mejora la disponibilidad de nitrógeno, la capacidad de retención de agua y la CIC, disminuye el pH y aumenta la conductividad eléctrica al aportan cargas a la solución del suelo, lo que mejora las condiciones para un mejor desarrollo del cultivo. Por último, la dosis de refuerzo reducida, excepto en la actividad enzimática de la ureasa, produce un ligero aumento en todas las propiedades analizadas, comparándola con la dosis recomendada por la empresa OPTIMASOIL S.L.

## 6 Bibliografía

- Abd El-Hamid, A. R., AL-Kamar, F. A. A., & Husein, M. E. (2013). IMPACT OF SOME ORGANIC AND BIOFERTILIZERS SOIL AMENDMENTS ON THE FERTILITY STATUS, SOME SOIL PROPERTIES, AND PRODUCTIVITY OF SANDY SOILS. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 4(10), 989-1007. <https://doi.org/10.21608/jssae.2013.52493>
- Al-Taey, D. K. A., Al-Dirbil, K. M. N., & Al-Azawi, S. S. M. (2021). Study The Effect of Water Quality, Bio Booster (Zytonic F) and Nano NPK fertilizer on Tomato Growth and Yield. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 910(1), 012063. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/910/1/012063>
- Al-Taey, D., Sabah, S., & Sahib, M. (2022). EFFECT OF ZYTONIC-M, PALM WASTES COMPOST AND NPK ON THE GROWTH AND YIELD OF TOMATO UNDER SALT STRESS CONDITIONS. *International Journal of Agricultural and Statistics Sciences*, 18, 829-836.
- Amézqueta, E. (1999). Soil Aggregate Stability: A Review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14(2-3), 83-151. [https://doi.org/10.1300/J064v14n02\\_08](https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08)
- Amin, G. A., Badr, E. A. E., & Afifi, M. H. M. (2013). Root yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris L.*) in response to biofertilizer and foliar application with micronutrients. 27, 1385-1389. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.27.11.13732>
- Andrews, S. S., Karlen, D. L., & Mitchell, J. P. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90(1), 25-45. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00174-8)
- Antonius, S., & Agustiyani, D. (2011). EFFECTS OF BIOFERTILIZER CONTAINING MICROBIAL OF N-FIXER, P SOLUBILIZER AND PLANT GROWTH FACTOR PRODUCER ON CABBAGE (BRASSICA OLERACEAE VAR. CAPITATA) GROWTH AND SOIL ENZYMATIC ACTIVITIES: A GREENHOUSE TRIAL: *Berkala Penelitian Hayati*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.23869/301>
- Arias, N. M. M., Rangel, M. del C. N., López, I. C. P., Sánchez, E. C., & Cruz, J. M. de la. (2018). El suelo y su multifuncionalidad: ¿qué ocurre ahí abajo? *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 25(3). <https://www.redalyc.org/journal/104/10455646009/html/>
- Ason, B., Ababio, F., Boateng, E., & Yangyuoru, M. (2014). Efficacy of Zytonic Soil Conditioner on two Ghanaian Soils using Sweet Pepper and Maize as test crops. 2, 152-158.
- Ayuke, F. O., Brussaard, L., Vanlauwe, B., Six, J., Lelei, D. K., Kibunja, C. N., & Pulleman, M. M. (2011). Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. *Applied Soil Ecology*, 48(1), 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.02.001>
- Bauder, T. A., Davis, J. G., & Waskom, R. M. (2004). *Managing Saline Soils*.
- Bejar Pulido, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., Luna Robles, E. O., Bejar Pulido, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., & Luna Robles, E. O. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(59), 31-50. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666>
- Bhandari, K. B., West, C. P., & Acosta-Martinez, V. (2020). Assessing the role of interseeding alfalfa into grass on improving pasture soil health in semi-arid Texas High Plains. *Applied Soil Ecology*, 147, 103399. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103399>
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Oost, K. V., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil

- erosion. *Nature Communications*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Cassel, D. K., & Nielsen, D. R. (1986). Field Capacity and Available Water Capacity. En *Methods of Soil Analysis* (pp. 901-926). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c36>
- Chen, Y., & Avnimelech, Y. (2012). *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*. Springer Science & Business Media.
- Cremona, M. V., & Enriquez, A. S. (2020). *Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/209253>
- Das, S. K., & Varma, A. (2010). Role of Enzymes in Maintaining Soil Health. En G. Shukla & A. Varma (Eds.), *Soil Enzymology* (pp. 25-42). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-14225-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14225-3_2)
- Demuner-Molina, G., Cadena-Zapata, M., Campos-Magaña, S. G., Zermeño-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*, 5(2), 123-130.
- Deumlich, D., Thiere, J., & Altermann, M. (2015). Characterization of cation exchange capacity (CEC) for agricultural land-use areas. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(6), 767-784. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.961434>
- Devarinti. (2016). Natural Farming: Eco-Friendly and Sustainable? *Agrotechnology*, 05(02). <https://doi.org/10.4172/2168-9881.1000147>
- Doran, J. W. (2002). Soil health and global sustainability: Translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 119-127. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00246-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00246-8)
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and Assessing Soil Quality. En *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (pp. 1-21). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>
- FAO. (s. f.). *Propiedades Físicas. Portal de Suelos de la FAO*. Recuperado 6 de octubre de 2022, de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO. (2015). Funciones del suelo: Los suelos aportan servicios ecosistémicos que permiten la vida en Tierra - Infografía. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/0a7cfcb0-e14e-4b18-a06c-856af6ff046e/>
- FAO. (2022). Standard operating procedure for cation exchange capacity and exchangeable bases by 1N ammonium acetate, pH 7.0 method. FAO.
- Florentino, A. (1998). Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: selección de indicadores físicos. Valores críticos. Manejo Sostenible de los Suelos, Manual de Prácticas. Facultad de Agronomía UCV. Maracay-Venezuela. p, 68-77.
- Follmer, C. (2008). Insights into the role and structure of plant ureases. *Phytochemistry*, 69(1), 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.06.034>
- Fuertes-Mendizábal, T., Huérfano, X., Ortega, U., González-Murua, C., Estavillo, J. M., Salcedo, I., & Duñabeitia, M. K. (2021). Compost and PGP-Based Biostimulant as Alternative to Peat and NPK Fertilization in Chestnut (*Castanea Sativa* Mill.) Nursery Production. *Forests*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/f12070850>
- García Zamorano, F.; Ruiz Coleto, F.; Cano Rodríguez, J.; Pérez García, J.; Molina de la Rosa, J. L.; Cabra-Priego, C.I.F.A. (2010). Suelo, riego, nutrición y medio ambiente del olivar. (I. d. Junta de Andalucía, Ed.) Sevilla: Signatura Ediciones de Andalucía, S.L

- Gelaw, A. M., Singh, B. R., & Lal, R. (2015). Organic Carbon and Nitrogen Associated with Soil Aggregates and Particle Sizes Under Different Land Uses in Tigray, Northern Ethiopia. *Land Degradation & Development*, 26(7), 690-700. <https://doi.org/10.1002/ldr.2261>
- Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1998). Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78(1), 127-157. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00192-7)
- Hofman, G., & Cleemput, O. (2004). *Soil and Plant Nitrogen*.
- Ismail, D. S., & Obeid, M. H. (2023). Effect of Organic and Biostimulators (Zytonic-F) on Growth and Yield of Two Lettuce Cultivars. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1158(4), 042014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/4/042014>
- Ji, S., Liu, Z., Liu, B., Wang, Y., & Wang, J. (2020). The effect of Trichoderma biofertilizer on the quality of flowering Chinese cabbage and the soil environment. *Scientia Horticulturae*, 262, 109069. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109069>
- Karapouloutidou, S., & Gasparatos, D. (2019). Effects of Biostimulant and Organic Amendment on Soil Properties and Nutrient Status of Lactuca Sativa in a Calcareous Saline-Sodic Soil. *Agriculture*, 9(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/agriculture9080164>
- Kemper, W. & Rosenau, R. (1986). Aggregate stability and size distribution. *Methods of Soil Analysis. Agronomy Monograph*, n9,(2nd Edition) 425 – 442.
- Lal, R. (1994). Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. SMSS technical monograph, 21. Soil Management Support Services. U.S. Department of Agriculture..
- Lal, R. (2008). Soils and sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 57-64. <https://doi.org/10.1051/agro:2007025>
- Lal, R., Kimble, J. M., Follett, R. F., & Stewart, B. A. (1997). *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press.
- Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Souchère, V., Alberola, C., & Ménessieu, J. (2009). Agronomy for Sustainable Agriculture: A Review. En E. Lichtfouse, M. Navarrete, P. Debaeke, S. Véronique, & C. Alberola (Eds.), *Sustainable Agriculture* (pp. 1-7). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_1)
- Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang, B., & Li, H. (2009). Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 42(2), 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.03.006>
- López-Acevedo, M., Poch, R., & Porta, J. (2019). *Edafología: Uso y protección de suelos*. Editorial Paraninfo.
- Lynch, J. M., & Bragg, E. (1985). Microorganisms and Soil Aggregate Stability. En B. A. Stewart (Ed.), *Advances in Soil Science* (pp. 133-171). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5088-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5088-3_3)
- Mahanta, D., Rai, R. K., Mishra, S. D., Raja, A., Purakayastha, T. J., & Varghese, E. (2014). Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. *Field Crops Research*, 166, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.016>
- Marschner, H. (2011). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.
- McCauley, A., Jones, C., & Jacobsen, J. (2009). *Soil pH and Organic Matter*. Montana State University.
- Mujdeci, M., Simsek, S., & Uygur, V. (2019). THE EFFECTS OF ORGANIC AMENDMENTS ON SOIL WATER RETENTION CHARACTERISTICS UNDER CONVENTIONAL TILLAGE SYSTEM. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26, 6205-6211.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

- Nortcliff, S. (2002). Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 161-168. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00253-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00253-5)
- ONU. (2020). *2010–2020: Decenio para los Desiertos y la Lucha contra la Desertificación*. [https://www.un.org/es/events/desertification\\_decade/value.shtml](https://www.un.org/es/events/desertification_decade/value.shtml)
- Oshunsanya, S. O. (2018). Introductory Chapter: Relevance of Soil pH to Agriculture. En *Soil pH for Nutrient Availability and Crop Performance*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82551>
- PAC. (2023, febrero 6). *Política agrícola común para el periodo 2023-2027*. <https://www.consilium.europa.eu/es/politicas/cap-introduction/cap-future-2020-common-agricultural-policy-2023-2027/>
- Page, K. L., Dang, Y. P., & Dalal, R. C. (2020). The Ability of Conservation Agriculture to Conserve Soil Organic Carbon and the Subsequent Impact on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties and Yield. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.00031>
- Pascual España, B., & Pascual Seva, N. (2020, octubre 2). Riegos de gravedad y a presión. *Colección Académica*. Colección Académica. <https://riunet.upv.es/handle/10251/152215>
- Patil, S. V., Mohite, B. V., Patil, C. D., Koli, S. H., Borase, H. P., & Patil, V. S. (2020). Chapter 19—Azotobacter. En N. Amaran, M. Senthil Kumar, K. Annapurna, K. Kumar, & A. Sankaranarayanan (Eds.), *Beneficial Microbes in Agro-Ecology* (pp. 397-426). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823414-3.00019-8>
- Piotrowska-Długosz, A., & Charzyński, P. (2015). The impact of the soil sealing degree on microbial biomass, enzymatic activity, and physicochemical properties in the Ekranic Technosols of Toruń (Poland). *Journal of Soils and Sediments*, 15(1), 47-59. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0963-8>
- Prasad, H., Parmar, Y., Sajwan, P., Kumari, M., & Solanki, S. (2017). *Effect of Organic Manures and Biofertilizer on Plant Growth, Yield and Quality of Horticultural Crop: A Review*. 217, 217-221.
- Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. (s.f.). Recuperado 22 de agosto de 2023, de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, Pub. L. No. Real Decreto 506/2013, BOE-A-2013-7540 51119 (2013). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/06/28/506>
- Reglamento Europeo 2019/1009, por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE y se modifican los Reglamentos (CE) nº 1069/2009 y (CE) nº 1107/2009 y se deroga el Reglamento (CE) 2003/2003. Diario Oficial de la Unión Europea de 5 de junio de 2019. <https://www.boe.es/doue/2019/170/L00001-00114.pdf>
- Riaz, U., Mehdi, S. M., Iqbal, S., Khalid, H. I., Qadir, A. A., Anum, W., Ahmad, M., & Murtaza, G. (2020). Bio-fertilizers: Eco-Friendly Approach for Plant and Soil Environment. En K. R. Hakeem, R. A. Bhat, & H. Qadri (Eds.), *Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation* (pp. 189-213). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0_9)
- Richards L. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. U.S. Government Printing Office.
- Rivera-Cruz, M. del C., Trujillo Narcía, A., Córdova Ballona, G., Kohler, J., Caravaca, F., & Roldán, A. (2008). Poultry manure and banana waste are effective biofertilizer carriers for

- promoting plant growth and soil sustainability in banana crops. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(12), 3092-3095. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.09.003>
- Saad, M., Al-Jabry, Al-Salami, I., Alamry, A., Jubair, A., Manee, S., & Al-Jabry, E. (2023). *EFFECT OF MYCORRHIZAE (GLOMUSMOSSEAE) ON THE GROWTH PARAMETERS OF BARLEY GROWN IN NUTRIENT SOLUTIONS*. 18, 1825-1828.
- Saña, J., Moré, J. E.; Cohí, A., 1996. La gestión de la fertilidad de los suelos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 277 pp..
- Sastre, I., Vicente, M. A., & Lobo, M. C. (1996). Influence of the application of sewage sludges on soil microbial activity. *Bioresource Technology*, 57(1), 19-23. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(96\)00035-1](https://doi.org/10.1016/0960-8524(96)00035-1)
- Sembiring, M., Sabrina, T., & Mukhlis, M. (2020). Effect of soil conditioner enriched with biofertilizers to improve soil fertility and maize (*Zea mays* L.) growth on andisols Sinabung area. *Acta Agriculturae Slovenica*, 116(2), Article 2. <https://doi.org/10.14720/aas.2020.116.2.1322>
- Serrano Hidalgo, R. (2021). *Evaluación de un suelo hidrofóbico tratado con un mejorador de suelo de uso agrícola frente a episodios de lluvia simulada*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/174268>
- Shen, B., Wei, L., Cui, P., Cheng, J., Xiang, J., & Wu, J. (2020). Effects of different rootstocks on the growth and berry quality in «Ruidu Hongyu» grapevines. *Journal of Fruit Science*, 37(3), 350-361. Scopus. <https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsx.20190346>
- Shen, Z., Zhong, S., Wang, Y., Wang, B., Mei, X., Li, R., Ruan, Y., & Shen, Q. (2013). Induced soil microbial suppression of banana fusarium wilt disease using compost and biofertilizers to improve yield and quality. *European Journal of Soil Biology*, 57, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.03.006>
- Sims, J. T., Cunningham, S. D., & Sumner, M. E. (1997). Assessing Soil Quality for Environmental Purposes: Roles and Challenges for Soil Scientists. *Journal of Environmental Quality*, 26(1), 20-25. <https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600010004x>
- Singh, J. S., Pandey, V. C., & Singh, D. P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(3), 339-353. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>
- Soane, B. D. (1990). The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research*, 16(1), 179-201. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(90\)90029-D](https://doi.org/10.1016/0167-1987(90)90029-D)
- Spain, A., Isbell, R. F., & Probert, M. E. (1983). Soil organic matter. *Soil Organic Matter*, 551-563.
- Timsina, J. (2018). Can Organic Sources of Nutrients Increase Crop Yields to Meet Global Food Demand? *Agronomy*, 8(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100214>
- USDA. (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>
- USDA (2014). Kellogg soil survey laboratory methods manual. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Kellogg Soil Survey Laboratory.
- Villarroel A., J. (1988). Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. <http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/142>
- Wang, X., Xu, S., Wu, S., Feng, S., Bai, Z., Zhuang, G., & Zhuang, X. (2018). Effect of *Trichoderma viride* biofertilizer on ammonia volatilization from an alkaline soil in Northern China. *Journal of Environmental Sciences*, 66, 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.05.016>

- Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., & Wong, M. H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. *Geoderma*, *125*(1), 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003>
- Yoder, R. E. (1936). A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Agronomy Journal*, *28*(5), 337-351. <https://doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x>
- Zantua, M. I., Dumenil, L. C., & Bremner, J. M. (1977). Relationships Between Soil Urease Activity and Other Soil Properties. *Soil Science Society of America Journal*, *41*(2), 350-352. <https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100020036x>
- Zhu, L., Zhang, F., Li, L., & Liu, T. (2021). Soil C and Aggregate Stability Were Promoted by Bio-fertilizer on the North China Plain. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(3), 2355-2363. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00527-8>

**Máster en Sanidad y producción Vegetal**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**Trabajo de Fin de Máster:**

**Dinámica y  
optimización del  
mejorador de suelos  
Zytonic.**

**Realizado por:**

Ana Ramón-Llin Pla

**Dirigido por:**

Dra. Sara Ibáñez Asensio

Dr. Héctor Moreno Ramón

# **ANEXO 1. Materiales y métodos**

Tabla 1. Tabla de cortes, aplicaciones de Zytonic y riegos durante el transcurso de las experiencias.

Marzo						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
		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		
Abril						
					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
Mayo						
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				

	Riego
	Aplicación Zytonic
	Corte

Tabla 2. Ficha técnica Zytonic NPK.

Zytonic NPK	
<b>Beneficios</b>	Nutrición equilibrada y mayores cultivos
	Mayor calidad y durabilidad
	Floración mejorada (baja caída) y fructificación
	Mejora de la salud y la actividad biológica del suelo
	Ayudará a eliminar los fertilizantes químicos
<b>Ingredientes</b>	Bacterias fijadoras de nitrógeno ( <i>Azotobacter spp</i> ): 1 x 10 <sup>7</sup> ufc/g
	Bacterias solubilizadoras de fósforo: 1 x 10 <sup>7</sup> ufc/g
	Bacterias movilizadoras K: 1 x 10 <sup>7</sup> ufc/g
	Recuentos viables totales: Min. 3x10 <sup>7</sup> ufc/g
<b>Notas</b>	Para mejores resultados, siempre usar Zytonic NPK con Zytonic M
	Cuando se preparé la solución Zytonic, primero añadir el polvo en un contenedor y añadir agua agitando al mismo tiempo para garantizar una buena disolución
	Para la aplicación por goteo, filtrar la solución antes de hacerla pasar por el sistema de goteo

Tabla 3. Ficha técnica Zytonic-M.

Zytonic-M	
<b>Formulación</b>	Sílice 10-16%
	Poliacrilato de sodio 14%
	Humato de Potasio 10%
	Ácido Húmico 60-65%
	Agua 5-6%
<b>Características físicas</b>	Polvo
	Amarillo pálido
	Sin olor
	Soluble
	No Explosivo
<b>Beneficios</b>	Mejora de tamaño, sabor e incremento de producción
	Reducción en el consumo de agua
	Mejora del periodo de conservación en la mayor parte de frutas y vegetales
<b>Características del producto</b>	Airea, mejora la porosidad del suelo, previene la formación de costras en el suelo y mejora la salud y fertilidad del suelo
	Desarrolla un sistema radicular profuso, con raíces más largas y anchas, que producen una reducción de los requisitos de agua
	Asegura el suministro adecuado de agua y nutrientes a las plantas, produciendo una floración y recolección adelantadas
	Mejor control de parásitos y enfermedades, gracias a un sistema radicular mayor, que mejora el crecimiento y vigor de las plantas
	Incremento de la actividad de microorganismos beneficiosos en la rizosfera
	Asegura un suministro óptimo y constante de N, P, K y micronutrientes
<b>Dosis recomendada</b>	Dosis inicial 50 kg/ha
	Dosis de refuerzo 10 kg/ha

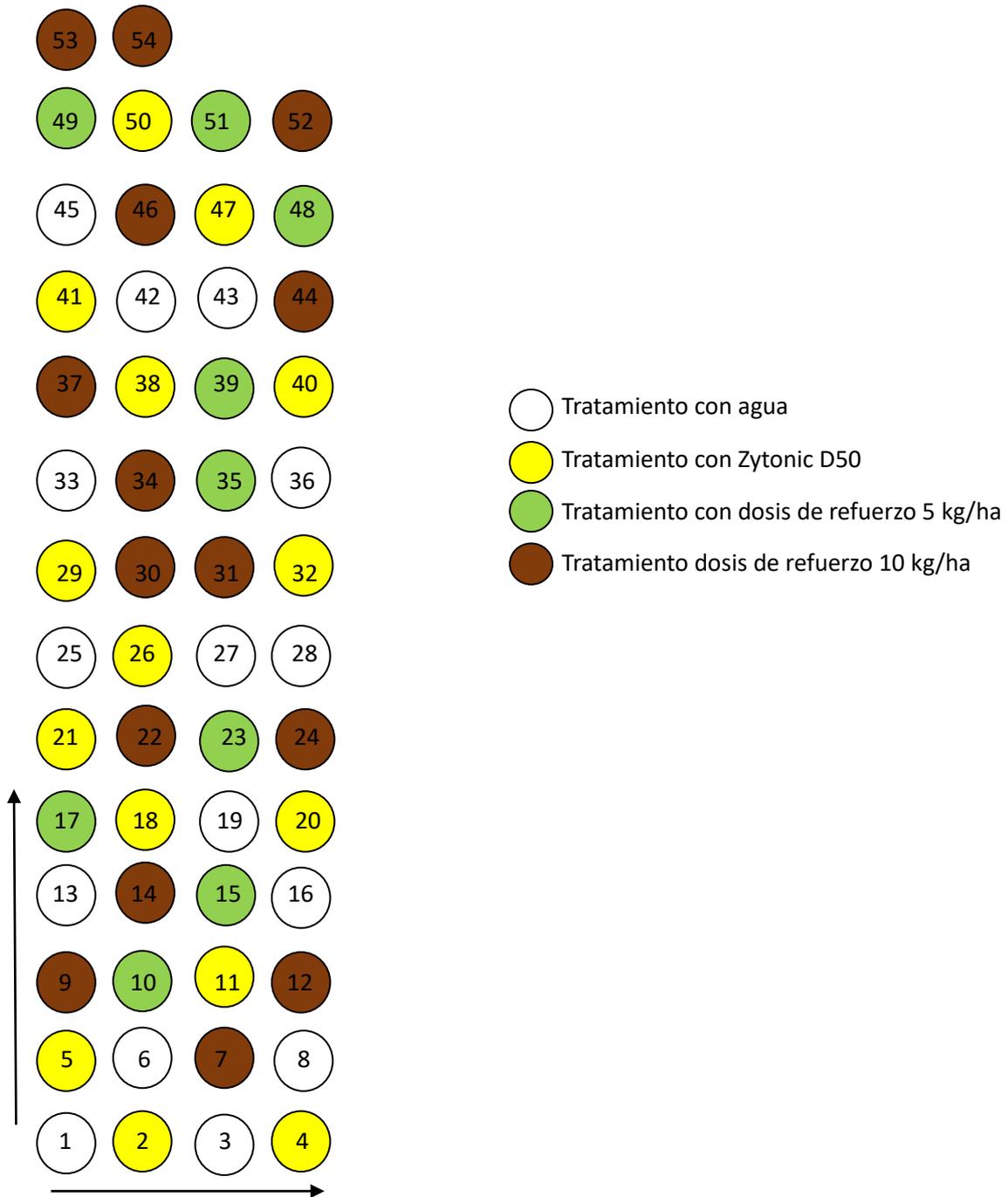


Figura 1. Distribución aleatoria de las unidades experimentales en el invernadero número 8.



Figura 22. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 3. Escáner realizado durante los cortes.

48A



Figura 4. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 5. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 6. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 7. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 8. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 9. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 10. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 11. Escáner realizado durante los cortes.

3A

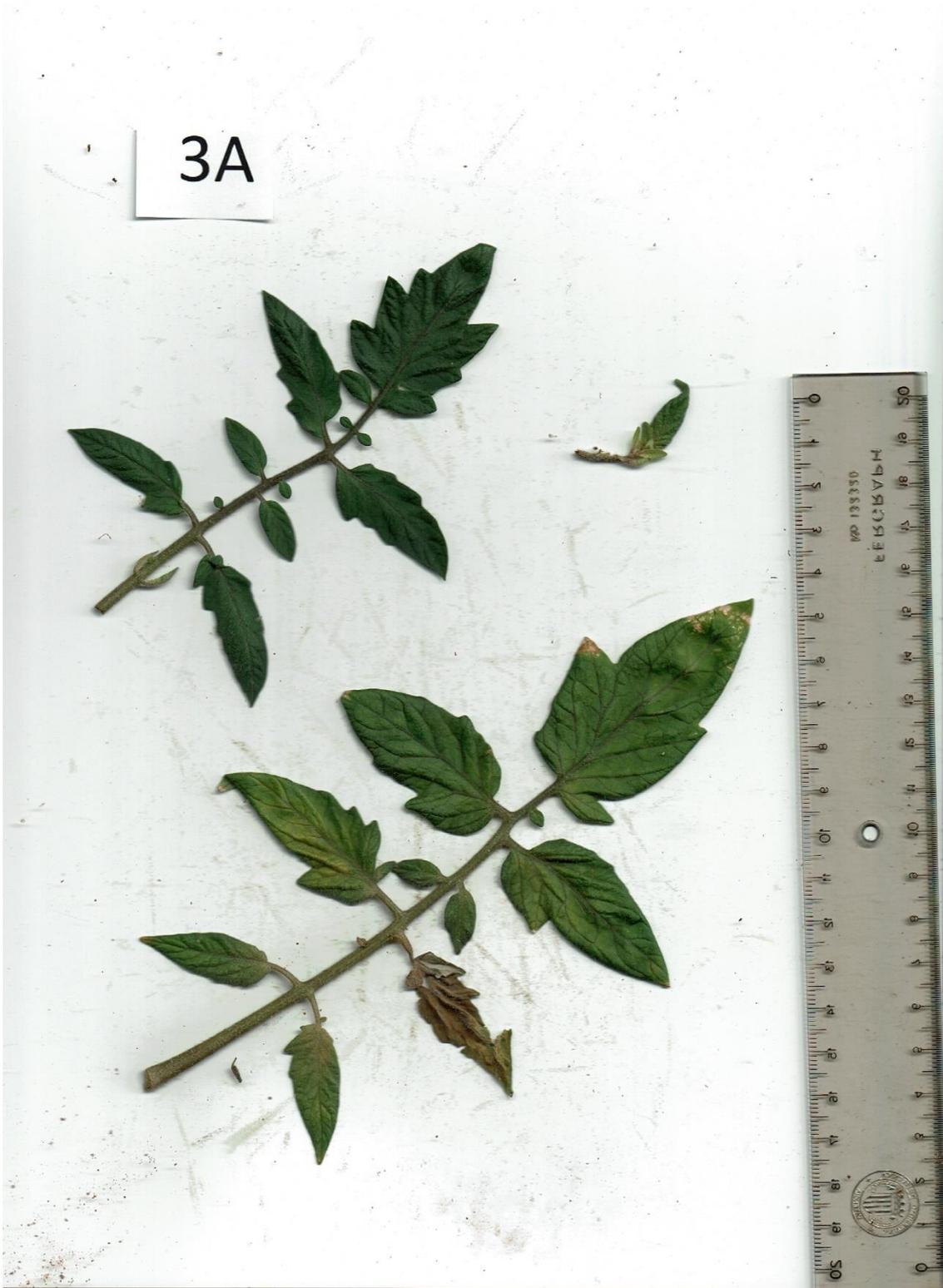


Figura 12. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 13. Escáner realizado durante los cortes.

50A



Figura 14. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 15. Escáner realizado durante los cortes.

8A



Figura 16. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 17. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 18. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 19. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 20. Escáner realizado durante los cortes.

11A



Figura 21. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 22. Escáner realizado durante los cortes.

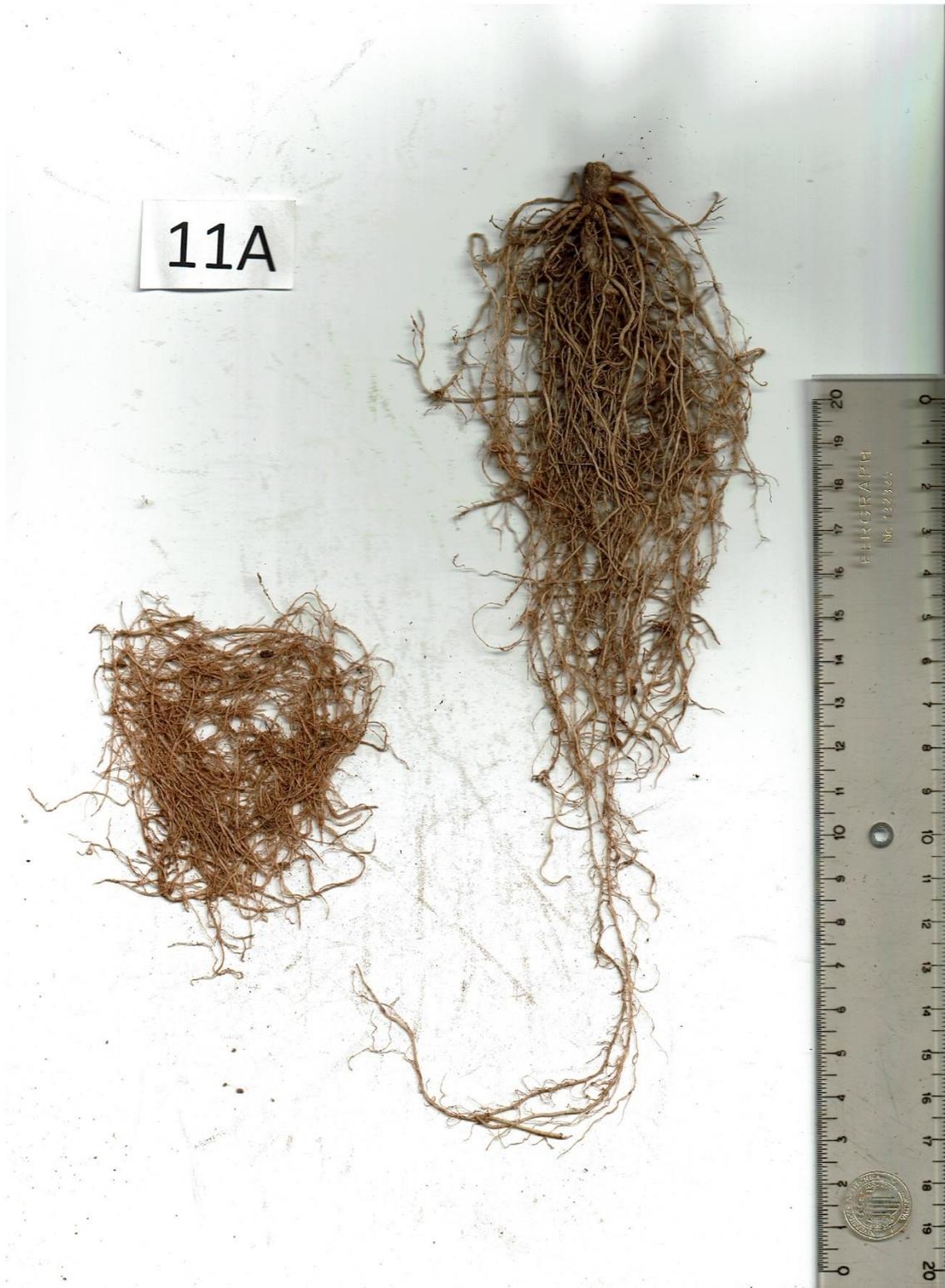


Figura 23. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 24. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 25. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 26. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 27. Escáner realizado durante los cortes.

19A



Figura 28. Escáner realizado durante los cortes.

19A



Figura 29. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 30. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 31. Escáner realizado durante los cortes.

20A



Figura 32. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 33. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 34. Escáner realizado durante los cortes.

21A



Figura 35. Escáner realizado durante los cortes.

21A



Figura 36. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 37. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 38. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 39. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 40. Escáner realizado durante los cortes.

26A



Figura 41. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 42. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 43. Escáner realizado durante los cortes.

28A



Figura 44. Escáner realizado durante los cortes.

28A



Figura 45. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 46. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 47. Escáner realizado durante los cortes.

31A



Figura 48. Escáner realizado durante los cortes.

26A



Figura 49. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 50. Escáner realizado durante los cortes.



33A

Figura 51. Escáner realizado durante los cortes.

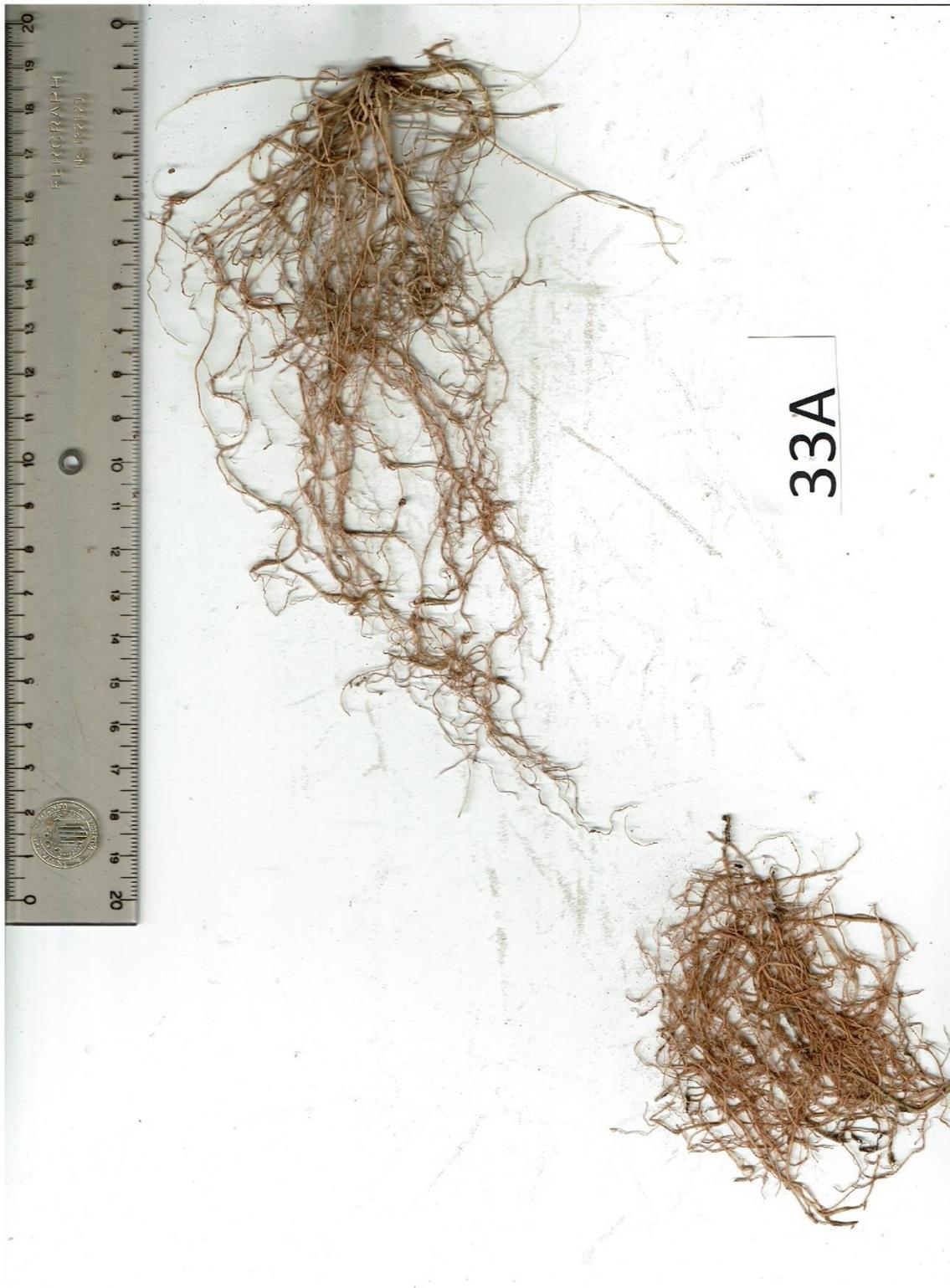


Figura 52. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 53. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 54. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 55. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 56. Escáner realizado durante los cortes.

40A



Figura 57. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 58. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 59. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 60. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 61. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 62. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 63. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 64. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 65. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 66. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 67. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 68. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 69. Escáner realizado durante los cortes.



29A

Figura 70. Escáner realizado durante los cortes.



29A

Figura 71. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 72. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 73. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 74. Escáner realizado durante los cortes.

. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 75. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 76. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 77. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 78. Escáner realizado durante los cortes.



16A

Figura 79. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 80. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 81. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 82. Escáner realizado durante los cortes.



Figura 83. Escáner realizado durante los cortes.

# **ANEXO 2. Resultados y discusión.**



