



**Universidad de Jaén**

***Facultad de Ciencias Experimentales***

**Trabajo Fin de Grado**

**Construcción de un  
invernadero para el estudio  
de la tolerancia a la salinidad  
en *Cucumis sativus* utilizando  
el cultivo sin suelo**

**Alumno: Ramsés Martínez Carrillo.**

**Jaén, Julio, 2022.**

Trabajo Fin de Grado

# **Construcción de un invernadero para el estudio de la tolerancia a la salinidad en *Cucumis sativus*, utilizando el cultivo sin suelo**

Firma del alumno:



**Alumno: Ramsés Martínez Carrillo**

**Jaén, Julio, 2022**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, dar mi agradecimiento más sincero a mis familiares, novia y compañeros del grado de Biología, al área de fisiología vegetal por darme los conocimientos necesarios para poder llevar a cabo este proyecto. A mi tutora M<sup>a</sup> del Pilar Cordovilla Palomares, gracias a su colaboración he conseguido llegar a realizar este proyecto, aumentar mi motivación y mi crecimiento profesional. Por tutorizar y organizar las reuniones que me han ayudado a desarrollar este proyecto, por su continua preocupación para que todo fuese sobre ruedas.

A mis propios errores a lo largo de este curso, que me han enseñado a concienciar de la necesidad de desarrollar competencias como: capacidad de adaptación al cambio, resolución de problemas, calma y, por aprender a concienciarme de que “no hay mejor maestro que el error”.

A los profesionales de la empresa Agroconsulting, donde realicé mis prácticas curriculares mientras realizaba este proyecto, que me han hecho partícipe de su trabajo, que me han enseñado a afrontar muchas de las situaciones que han sido nuevas para mí, gracias a su apoyo, implicación y dedicación, he conseguido crecer no solo como profesional, sino como persona.

Por último, agradecer a todas las personas que han estado día tras día dándome consejos para mejorar dicho proyecto, animándome y dándome nuevas ideas para que pudiese seguir adelante con el trabajo, sin ellos todo esto se hubiese hecho mucho más cuesta arriba. Gracias a la Universidad de Jaén, por abrirme las puertas nuevamente hacia mi crecimiento profesional, a mis padres por estar al pie del cañón para que mi futuro sea cada vez más amplio, a todas las personas que han sido importantes este año para afrontar todo lo que ha aparecido, gracias.

## ÍNDICE:

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. RESUMEN .....</b>                                                             | <b>6</b>  |
| <b>2. ANTECEDENTES, ESTADO ACTUAL Y JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.....</b>          | <b>8</b>  |
| 2.1. Antecedentes y estado actual.....                                              | 8         |
| 2.1.1. <i>Importancia de la salinización de los suelos</i> .....                    | 8         |
| 2.1.2. <i>Extensión y Localización de áreas afectadas por la salinización</i> ..... | 11        |
| 2.1.3. <i>La salinidad en las plantas</i> .....                                     | 13        |
| 2.1.4. <i>Mecanismos de adaptación de las plantas a la salinidad</i> .....          | 14        |
| 2.1.6. <i>Necesidades de Cucumis sativus</i> .....                                  | 16        |
| 2.1.7. <i>El cultivo hidropónico</i> .....                                          | 17        |
| 2.1.8. <i>Ventajas y desventajas del cultivo sin suelo</i> .....                    | 18        |
| 2.2. Justificación de la propuesta .....                                            | 18        |
| 2.2.1. <i>Entidades a las que podría interesar el proyecto</i> .....                | 19        |
| <b>3. HIPÓTESIS .....</b>                                                           | <b>20</b> |
| <b>4. OBJETIVOS.....</b>                                                            | <b>20</b> |
| 4.1. Objetivo general .....                                                         | 20        |
| 4.2. Objetivos específicos (OE).....                                                | 21        |
| 4.3. Plan de contingencia para resolver posibles dificultades.....                  | 21        |
| <b>5. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>                                                | <b>21</b> |
| 5.1. Metodología y plan de trabajo .....                                            | 21        |
| 5.2. Recursos materiales y equipamiento disponible .....                            | 39        |
| 5.3. Cronograma .....                                                               | 41        |
| <b>6. PLAN FINANCIERO .....</b>                                                     | <b>43</b> |
| <b>7. IMPACTO CIENTÍFICO-TÉCNICO .....</b>                                          | <b>44</b> |
| 7.1. Impacto científico-técnico.....                                                | 44        |
| 7.2. Plan de divulgación .....                                                      | 45        |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>7.2.1. Plan de divulgación para grupos más relevantes.....</i>                 | <i>45</i> |
| <i>7.2.2. Plan de divulgación para la población en general.....</i>               | <i>46</i> |
| <b>8. IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO .....</b>                                        | <b>47</b> |
| 8.1. Descripción del impacto y beneficios que pueden derivarse de los resultados. | 47        |
| <b>9. RESULTADOS ESPERADOS .....</b>                                              | <b>48</b> |
| <b>10. BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                                     | <b>49</b> |

## 1. RESUMEN

El cambio climático y el uso de agua de riego de mala calidad traen consigo que la lucha frente a la salinidad sea cada vez más complicada. El efecto de la salinidad se puede ver reflejado en forma de cosechas de mala calidad y en una disminución de la productividad y por consiguiente, en grandes pérdidas económicas para el agricultor. El suelo salino es un problema a nivel mundial. Los suelos salinos son cada vez más comunes, lo que trae consigo un descenso de la producción de alimentos en una población que no para de aumentar.

Es por eso que el actual proyecto, se centra en la selección de variedades de pepino (*Cucumis sativus*) capaz de crecer y proporcionar una buena producción en condiciones de estrés salino, con la intención de que el agricultor pueda adaptar el cultivo al tipo de terreno del que dispone. Además en el presente proyecto se pretende dar una opción de mejora de la tolerancia a la salinidad por pretratamiento con reguladores del crecimiento.

En este proyecto, se ha considerado que la mejor forma para llevar a cabo este estudio es utilizar un sistema de cultivo sin suelo bajo invernadero, donde se puedan controlar cada uno de los parámetros que afectan al desarrollo de las plantas.

**Palabras clave:** Contaminación de suelos, *Cucumis sativus*, estrés salino hidroponía, producción.

## ABSTRACT

Climate change and the use of poor quality irrigation water mean that the fight against salinity is increasingly complicated. The effect of salinity can be seen reflected in the form of poor quality crops and a decrease in productivity and, consequently, in large economic losses for the farmer. Saline soil is a worldwide problem. Saline soils are becoming more common, which brings with it a decrease in food production in a population that does not stop increasing.

That is why the current project focuses on the selection of varieties of cucumber (*Cucumis sativus*) capable of growing and providing good production in saline stress conditions, with the intention that the farmer can adapt the crop to the type of land which he has. In addition, this project aims to provide an option to improve tolerance to salinity by pretreatment with growth regulators.

In this project, it has been considered that the best way to carry out this study is to use a soilless cultivation system under a greenhouse, where each of the parameters that affect the development of the plants can be controlled.

**Key words:** Soil contamination, *Cucumis sativus*, saline stress, hydroponics, production.

## 2. ANTECEDENTES, ESTADO ACTUAL Y JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA

### 2.1. Antecedentes y estado actual

#### *2.1.1. Importancia de la salinización de los suelos*

La salinidad junto con la sequía, es uno de los mayores problemas de estrés ambiental que afectan hoy en día a la distribución y crecimiento de las plantas. Cada vez más proyectos de investigación se centran en el estudio de la salinidad (Mukhopadhyay et al., 2021).

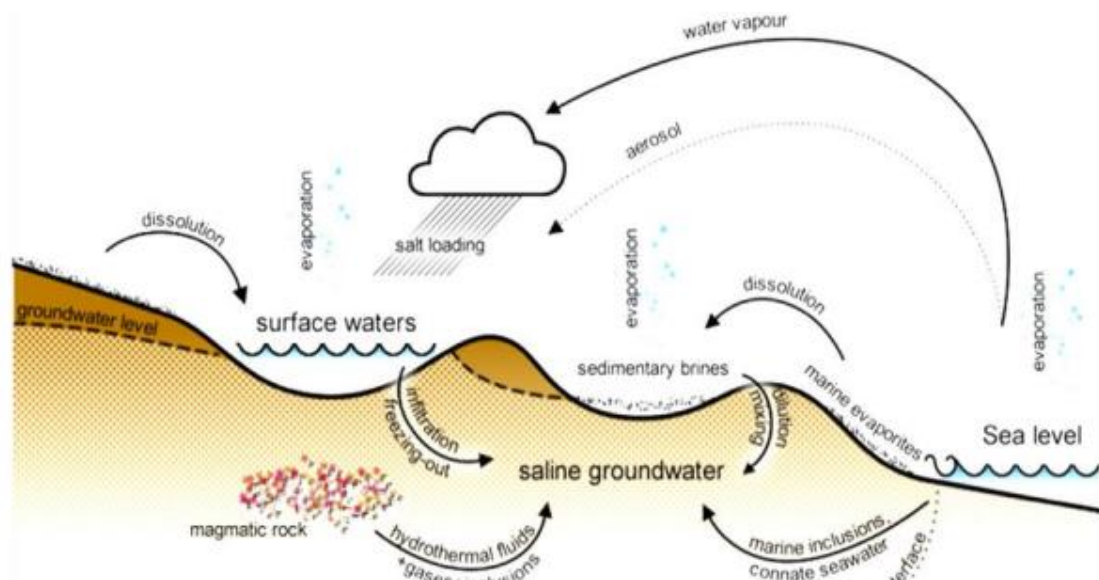
Se prevé que la salinización de los suelos, vaya en aumento como consecuencia del calentamiento global. Esto provocará una disminución de las cosechas a nivel mundial, afectando a una gran variedad de plantas (Boyer, 1982; Bartels y Sunkar, 2005; Gorai y Neffati, 2007; Watson y Byrne, 2009).

Los estudios estiman que para el 2050 la población mundial aumentará hasta un 34%, pudiendo alcanzar los 9.1 billones de personas, y para ese mismo año se prevé una disminución de la tierra cultivable de hasta un 50%, (Fahad et al., 2014).

Los suelos pueden tener elevadas concentraciones de salinidad debido a dos orígenes: natural (salinización primaria) o antropogénico (salinización secundaria).

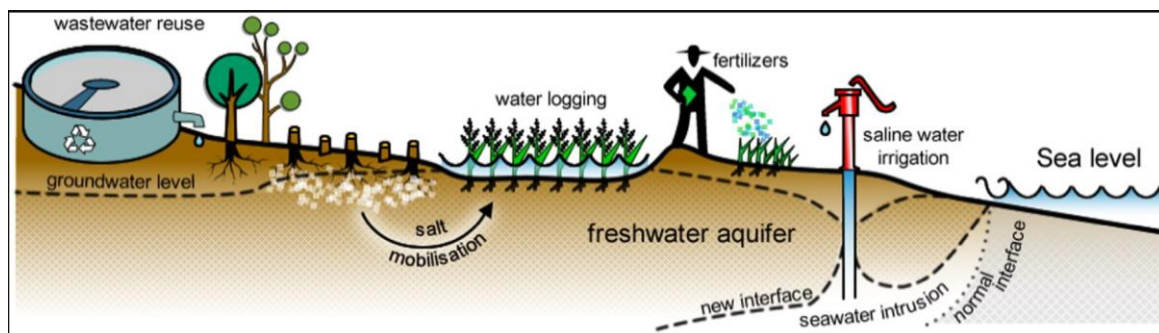
El origen de la salinización primaria, es principalmente debido a la meteorización de las rocas y minerales de la corteza terrestre o en las zonas costeras, por la cercanía al mar que estas presentan (Figura1.1) (Daliakopoulos et al., 2016).





**Figura 2.1.** Salinización primaria de suelos, debido a orígenes naturales (Daliakopoulos et al., 2016). Esto ocurre sobre todo en zonas áridas o semiáridas debido a la gran concentración de sales que presentan las rocas.

Sin embargo, hoy en día, predomina la salinización secundaria, es decir, de origen antropogénico (Figura 2.2), como consecuencia del riego con aguas salinas o de mala calidad, por un uso inadecuado del agua en las zonas de regadío y por el uso de fertilizantes con altos niveles salinos de forma inadecuada (Daliakopoulos et al., 2016).



**Figura 2.2.** Salinización secundaria (origen antropomórfico) (Daliakopoulos et al., 2016).

Esto ocurre principalmente en tierras costeras, por su proximidad al mar y tierras áridas y semiáridas, que necesitan ser regadas, situadas en zonas donde las precipitaciones son escasas, la tasa de evapotranspiración muy alta y la lixiviación de la sal está limitada. Esto conlleva a la movilización de sales acumuladas en las capas menos superficiales del suelo hasta las capas superiores (Daliakopoulos et al., 2016).

Según Wicke et al (2011), los suelos afectados por la sal inducidos por el hombre, en 2011 ya oscilaban en torno a 76 millones de hectáreas (Mha), de esas 76 millones, 45 Mha se dan en tierras de regadío, siendo aproximadamente el 19% de la tierra total regada y otro 32% proviene de tierras de secano, que de los 1500 Mha de tierras de secano, hace un total del 2% (FAO, 2008). En total, sería alrededor del 20% de la tierra cultivada en todo el mundo la que presenta elevados niveles de sal, y la cifra aumenta día tras día (Meena et al., 2019).

Se define salinidad como la concentración de sales minerales disueltas, presentes en el agua o en el suelo, referidas a una unidad de volumen o de peso. Los principales solutos son los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ , y los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$  (Tanji, 1990). La salinidad del suelo da como resultado un aumento de la conductividad eléctrica (CE), una estructura pobre del suelo y un suelo de bajo potencial hídrico ( $\psi_w$ ). En la (Tabla 2.1) podemos ver una clasificación de las aguas en función de los mg de sal por litro y CE (dS/m) (Pitman y Lauchli, 2002).

**Tabla 2.1.** Clasificación de la calidad del agua según la concentración total de sal (Pitman y Lauchli, 2002).

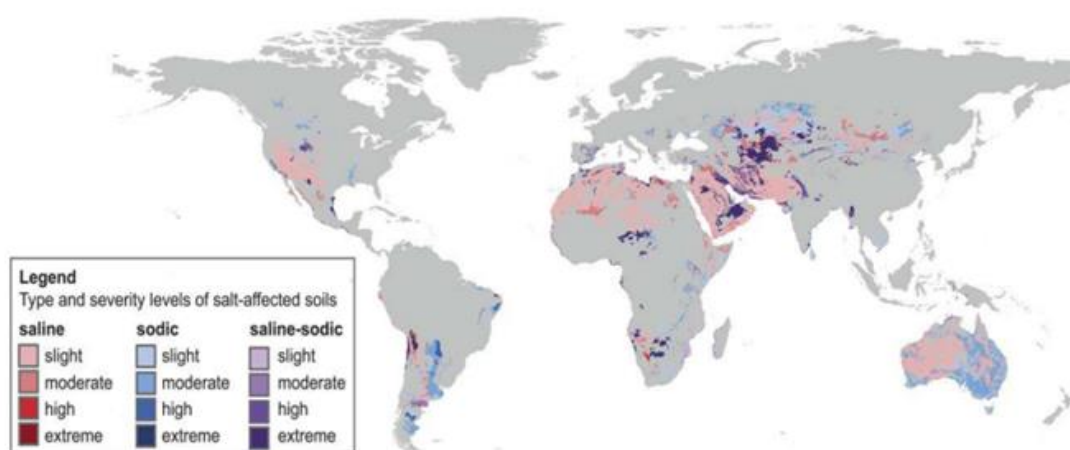
| Tipo de agua         | Sal total disuelta (mg/L) | CE(dS/m)  |
|----------------------|---------------------------|-----------|
| Dulce                | <500                      | > 0.6     |
| Ligeramente salobre  | 500- 1,000                | 0.6- 1.5  |
| Salobre              | 1,000-2,000               | 1.5-3.0   |
| Moderadamente salina | 2,000-5,000               | 3.0- 8.0  |
| Salina               | 5,000-10,000              | 8.0-15.0  |
| Altamente salina     | 10,000-35,000             | 15.0-45.0 |

Según Pitman y Lauchli (2002), el agua es denominada salobre, a partir de -0,6 CE dS/m y altamente salina a partir de 10,000 mg/l. A partir de 3-4 dS/m el

suelo empieza a considerarse salino, esto equivale aproximadamente a 40 mM de NaCl, generando una presión osmótica de 0,2 MPa (Munns y Tester, 2008).

### *2.1.2. Extensión y Localización de áreas afectadas por la salinización*

En la (Figura 2.3), se puede observar la distribución de suelos que ya había afectados por la salinidad en 2011, y la cifra aumenta día tras día. En dicha figura, Wicke et al (2011), diferencian los suelos salinos con un color rojizo, suelos sódicos en tonos azulados y suelos salinos-sódicos en tonos morados.



**Figura 2.3.** Distribución de suelos salinos en todo el mundo. (Wicke et al., 2011).

Hacemos referencia a suelos salinos cuando estos presentan una concentración de sales solubles que interfieren en el crecimiento de la planta, dichos suelos presentan una alta conductividad eléctrica (CE) pero su porcentaje en sodio intercambiable es bajo. Los suelos sódicos, presentan un alto porcentaje de sodio intercambiable pero una baja concentración de sales totales y los suelos salinos-sódicos tienen grandes cantidades de sales solubles y un porcentaje de sodio intercambiable suficiente para afectar al desarrollo de las plantas (Wicke et al., 2011).

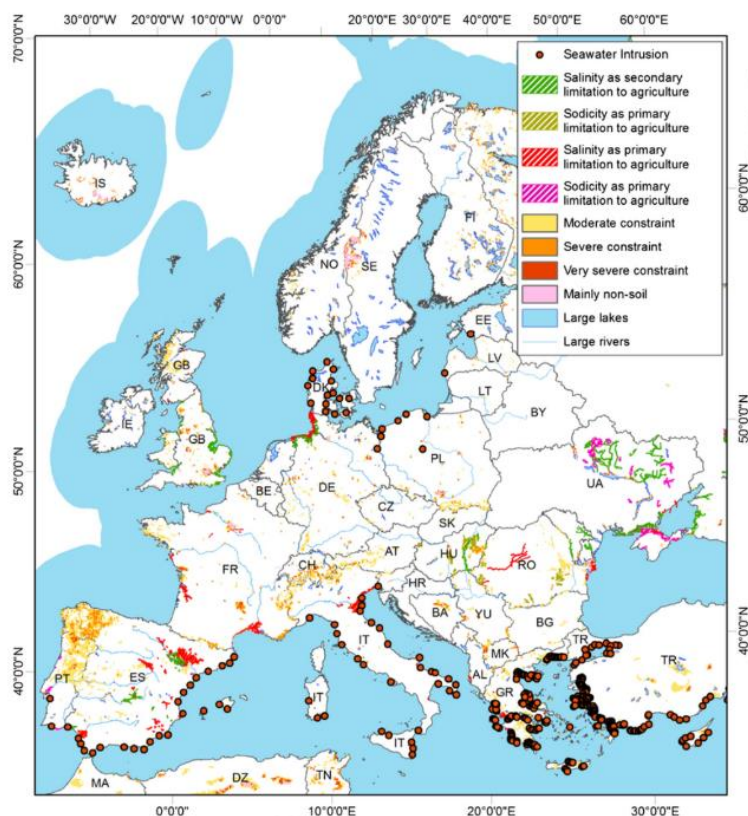
En la (Figura 2.3), podemos observar que la mayoría de suelos afectados por la salinidad se encuentran en zonas próximas al ecuador, donde las temperaturas son más elevadas y los terrenos más secos, es decir en zonas áridas o semiáridas.

El problema es que con el calentamiento global, estas zonas secas irán aumentando y con ellas las consecuencias para los cultivos agrícolas.

Actualmente se estima que hay alrededor de 120 países en todo el mundo que sufren las consecuencias de los suelos salinos, ocupando un área de unos 954 millones de hectáreas (Mha), y las pérdidas de productividad rondan entre el 7 y 8% (Meena et al., 2019).

Centrándonos en el continente europeo, en 2006, ya se estimó que presentaba en torno a un 3,3% de los suelos salinos a nivel mundial, es decir, en torno a 30,7 Mha (Rengasamy, 2006).

En la (Figura 2.4) podemos observar que la mayoría de las zonas afectadas por la salinidad en Europa, se sitúan en torno al mar Mediterráneo, debido a las zonas de intrusión del mismo en el continente y a los procesos explicados anteriormente.



**Figura 2.4:** Suelos salinos ( $EC > 4 \text{ dS m}^{-1}$  dentro de los 100 cm de la superficie del suelo) y sódicos ( $ESP > 6\%$  dentro de los 100 cm de la superficie del suelo). Zonas primarias y secundarias de limitaciones al uso agrícola y áreas de intrusión de agua de mar en Europa. (SGDBE, EEA, 1999; Daskalaki y Voudouris, 2008; Fischer et al., 2008).

Estudios de 3 países europeos (España, Hungría y Bulgaria), realizaron una estimación de las pérdidas económicas a causa de la salinización de los suelos, la cifra se situó en un rango de 158 – 321 M€ (Montanarella, 2007). Sin embargo, estudios más recientes, estimaron que las pérdidas económicas sólo en agricultura a causa de la salinidad, podían alcanzar los 600 M€ (en su mayoría a cargo de Países Bajos, Alemania y Francia) (Bosello et al., 2012).

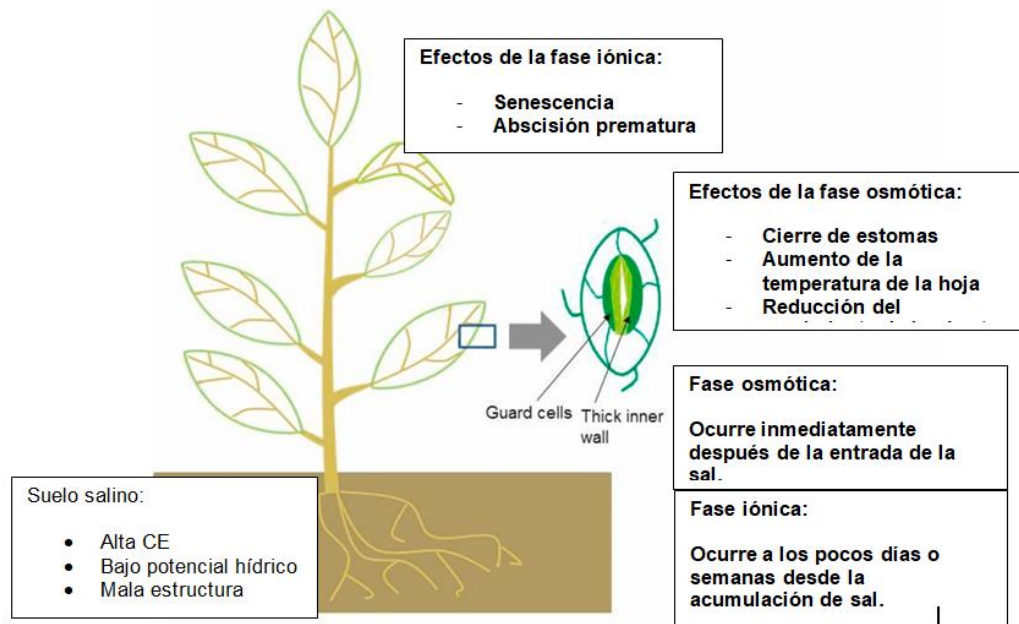
### *2.1.3. La salinidad en las plantas*

El cultivo en suelos salinos es uno de los principales factores que limitan la producción actualmente y que puede suponer un gran problema para el agricultor, ya que la mayoría de los cultivos agrícolas son intolerantes a la sal. Altas concentraciones de NaCl en el suelo pueden producir una disminución del crecimiento de la planta y productividad debido a tres factores: déficit hídrico, la toxicidad por iones y el desbalance nutricional (Munns, 2002).

La salinidad es un tipo de estrés abiótico, que puede describirse tanto a nivel osmótico como iónico (Sirault et al., 2009). A causa del bajo potencial osmótico del suelo salino, la planta experimenta un déficit hídrico al no poder absorber el agua que necesita correctamente (estrés osmótico), esto se combina con un desequilibrio nutricional y el efecto específico que provocan los propios iones del suelo, ya sea causando toxicidad (Cl, Na, B) o deficiencia nutricional (N, K, Ca, P) (Ashraf, 1994; Marschner, 1995). Dichos efectos estimulan a la planta para reaccionar frente al estrés salino, pudiendo distinguir en esta respuesta, 2 fases asociadas a los dos niveles de estrés que causa la salinidad en la planta (Figura 2.5):

- **Fase osmótica.** Se produce a los pocos minutos de que la planta detecte la acumulación de sal en la zona de la raíz (40 mM de NaCl normalmente) (Roy et al., 2014). Los principales síntomas detectables de esta fase en la planta son el cierre estomático, subida de temperatura de las hojas y la inhibición del crecimiento de los brotes (Munns y Tester., 2008).
- **Fase iónica.** Comienza a los días o semanas de la entrada de la sal en la planta, produciendo su acumulación en brotes y hojas. Como consecuencia

de esta acumulación se produce la senescencia de las hojas y abscisión prematura (Munns y Tester, 2008; Sirault et al., 2009).



**Figura 2.5.** Esquema de la respuesta de la planta a la salinidad, diferenciando la fase osmótica de la fase iónica.

En consecuencia, los diversos efectos observados a distinta escala, desde reducción de turgencia y crecimiento, hasta la pérdida de la estructura celular por desorganización de membranas e inhibición de la actividad enzimática, son el producto combinado del estrés hídrico, la toxicidad iónica y el desequilibrio nutricional, que la salinidad ocasiona a la planta (Parida y Das, 2005; Vijayan, 2008).

#### 2.1.4. Mecanismos de adaptación de las plantas a la salinidad

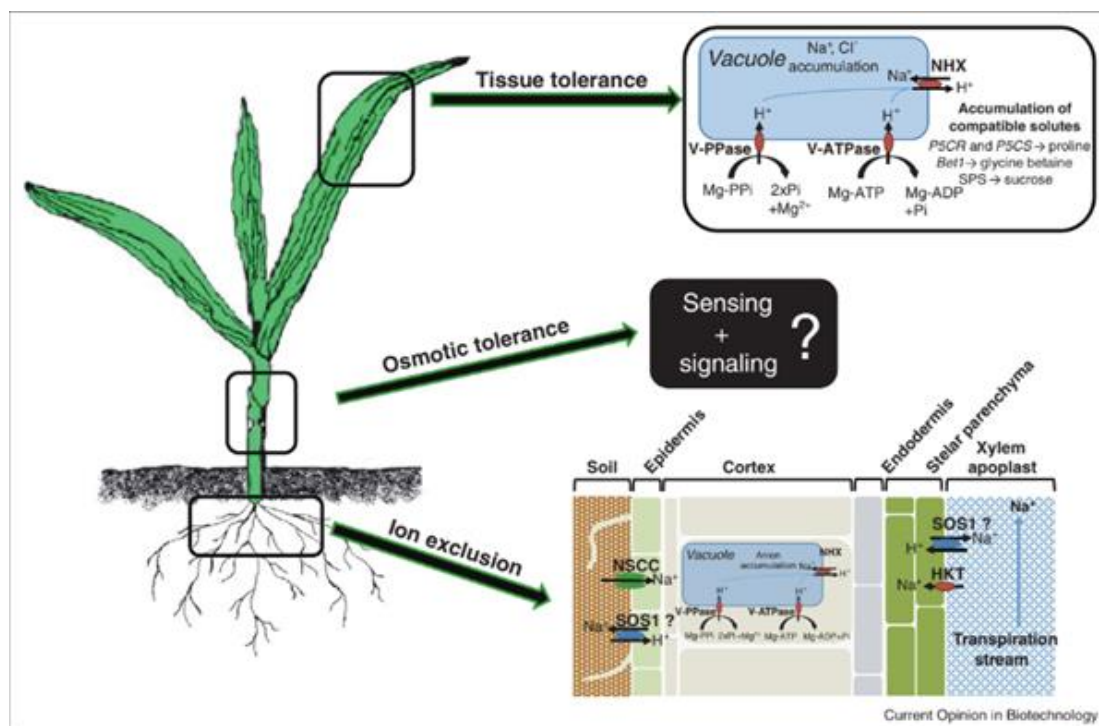
Para que una planta se adapte a las condiciones salinas, se deben activar múltiples mecanismos: debe aumentarse la capacidad de obtener y/o retener agua, y debe restituirse la homeostasis iónica (Bargmann et al., 2009).

Combatir el estrés osmótico, es necesario para mantener el estado hídrico de la planta (Parida y Das, 2005). Para lograr la estabilidad hídrica, la planta sintetiza solutos compatibles como azúcares, glicina betaína (GB) y aumenta los niveles de prolina, lo que permite que la planta tolere mejor la salinidad (Vinocur y Altman, 2005; Tuteja, 2007).



Existen 2 estrategias principales de adaptación de las plantas frente a suelos salinos. La primera estrategia está basada en modificaciones morfológicas, que principalmente consisten en aumentar la superficie de absorción de agua, es decir, mayor densidad y longitud de raíces (Krasilnikoff et al., 2003). La segunda forma de afrontar el estrés salino se basa en la configuración de sistemas fisiológicos y bioquímicos (Colla et al., 2013; Zhu, 2016). Con estas estrategias, la planta puede reducir la sal de las partes aéreas y la retiene en la raíz (Zhu et al., 2008).

Una vez que la sal ha entrado en la planta, esta desarrolla 3 mecanismos principales para tolerarla. El primero, se da a nivel tisular y consiste en almacenar la sal en compartimentos intracelulares (vacuolas principalmente) de las hojas. El segundo consiste en la tolerancia osmótica reduciendo el crecimiento de brotes y por último, el tercer mecanismo de tolerancia está relacionado con la exclusión de iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , en las raíces minimizando la acumulación de concentraciones tóxicas de dichos iones en las hojas (Roy et al., 2014) (Figura 2.6).



**Figura 2.6:** Mecanismos de tolerancia de la planta a nivel tisular, tolerancia osmótica y de exclusión iónica (Roy et al., 2014) *Current Opinion in Biotechnology*.

Los principales efectos secundarios del estrés salino incluyen un desequilibrio nutricional, disfunción de la membrana, deterioro de la fotosíntesis y otros procesos bioquímicos, generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y muerte celular programada (Serrano et al., 1999; Hasegawa et al., 2000).

Para mantener la turgencia, la planta recurre a la conductancia estomática; de esta forma se evita la sequía fisiológica reduciendo la transpiración. El cierre de los estomas conlleva una reducción del paso de CO<sub>2</sub> al interior de la planta y un exceso de energía de excitación en los cloroplastos (Parida y Das, 2005; Parvaiz y Satyawati, 2008). Se inhibe la fotosíntesis y como resultado, se produce una disminución de la elaboración de fotosintatos y un aumento de La producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) como el superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), el radical hidroxilo (<sup>-</sup>OH) y formas excitadas del oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) a causa del déficit hídrico y la acumulación de iones salinos (Parida y Das, 2005); (Parvaiz y Satyawati, 2008). El estrés oxidativo, provoca daños en el ADN y desnaturalización de proteínas (Parihar et al., 2014; Ben Hamed et al., 2016).

#### 2.1.6. Necesidades de *Cucumis sativus*

El cultivo de pepino tiene una gran flexibilidad en cuanto a temperatura, pudiendo desarrollarse en un rango de entre 15 a 27° C; a partir de los 35°C su crecimiento se enlentece y por debajo de 1°C la planta muere (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2.** Requerimiento de temperatura en cada etapa de desarrollo de la planta de *Cucumis sativus* (CENTA, 2003).

| Etapa de desarrollo         | Temperatura (°C) |          |
|-----------------------------|------------------|----------|
|                             | Diurna           | Nocturna |
| <b>Germinación</b>          | 27               | 27       |
| <b>Formación de planta</b>  | 21               | 19       |
| <b>Desarrollo del fruto</b> | 19               | 16       |

*Cucumis sativus* se puede cultivar en altitudes de entre 0 a 1200 metros sobre el nivel del mar (CENTA, 2003). Es una especie que demanda elevados niveles de



humedad. Durante la noche, alrededor del 70 y 90% y durante el día entre 60 y 70%, pero un exceso de humedad durante el día, hace que la planta reduzca la fotosíntesis. No requiere de una gran cantidad de precipitaciones, entre 500 y 1200 mm/año. En el periodo de cosecha principalmente, es conveniente que las precipitaciones sean bajas para reducir el riesgo a sufrir. Una velocidad del viento superior a 30 Km/h durante varias horas puede ser determinante en la producción de *Cucumis sativus* (USAID, 2007).

#### 2.1.7. El cultivo hidropónico

La hidroponía es un conjunto de técnicas que nos ofrece la opción de cultivar plantas sin suelo. Nos permite obtener cultivos en sitios que no serían posibles como suelos áridos, suelos con altas concentraciones de salinidad o incluso en las azoteas de las casas (Figura 2.7).

El cultivo sin suelo, se ha convertido en un gran avance para la agricultura actual, ya que nos permite un mejor aprovechamiento del agua, espacio, una mayor productividad y mayor densidad de cultivo.



**Figura 2.7.** Cultivo hidropónico casero.

(<https://ar.pinterest.com/pin/710302172469331046/1>).

La hidroponía es una modalidad que nos permite el cultivo y manejo de plantas sin suelo. Esta disciplina se utiliza principalmente para el cultivo de plantas de tipo herbáceo, estos cultivos reciben los nutrientes necesarios para su desarrollo mediante la solución nutritiva. El rendimiento de los cultivos hidropónicos puede duplicar al de los cultivos en suelo si los niveles de radiación, temperatura, disposición de las plantas, requerimiento de agua, etc, son los adecuados para el tipo de plantas utilizadas en el cultivo (Beltrano, 2015).

#### *2.1.8. Ventajas y desventajas del cultivo sin suelo*

Las ventajas del cultivo sin suelo se enfocan en la reducción de los costes de producción, al cultivo en cualquier periodo del año, a la disminución del uso de fertilizantes e insecticidas, a la automatización, a la disminución de la mano de obra y maquinaria agrícola, a una mayor calidad de la producción y a un ahorro en el consumo de agua.

Las desventajas frente a las ventajas son ínfimas, ya que las pocas desventajas que hemos considerado son los altos costes iniciales a la hora de emprender un cultivo de este tipo y la necesidad de tener mayores conocimientos (aunque esta última desventaja, es discutible, ya que lo puede realizar cualquier persona).

### **2.2. Justificación de la propuesta**

La salinización del suelo es un grave problema medioambiental que afecta gravemente a la producción agrícola (Zahid, 2015). Según los datos, 954 Mha de tierra están afectadas por la salinidad en nuestro planeta (Meena et al., 2019). Además el cambio climático podría acelerar la intrusión del agua salada en los suelos limitantes, debido al aumento del nivel del mar. También el exceso de extracción de agua subterránea en las zonas secas del mundo, podría aumentar la salinidad del suelo y del agua subterránea.

Por tanto, existe una creciente demanda en estrategias rentables y respetuosas con el medio ambiente, para solventar el problema de la salinización de

suelos. En este aspecto, la adaptación de los sistemas agrícolas para evitar el daño causado por el estrés salino sobre las plantas y mantener la producción en niveles óptimos es de gran interés.

Se ha observado que el cultivo bajo invernadero aplicando la tecnología de la hidroponía, es una de las mejores alternativas para el desarrollo de las plantas, y nos permite un cultivo menos dependiente de las condiciones edáficas y una mejora de las condiciones climáticas que este requiera (Bolaños, 2001).

En este sentido, este tipo de cultivo ofrece beneficios como altos rendimientos y calidad, mayores niveles de inocuidad en los productos obtenidos, mayor seguridad de la producción, independencia del suelo, clima, acceso a mejores mercados y potencial de alta rentabilidad económica (Hanan, 1998; Von Zabeltitz, 2011).

Un importante incentivo, para desarrollar este proyecto, es la ausencia de sistemas de hidroponía en el Campus universitario de la Universidad de Jaén, por lo que este proyecto puede propiciar una herramienta de gran utilidad para el desarrollo de prácticas de fisiología vegetal y de trabajos de Fin de Grado y Master.

#### *2.2.1. Entidades a las que podría interesar el proyecto*

Hay diversas entidades que podrían sacar partido a este proyecto, como la Universidad de Almería, con la intención de potenciar el rendimiento de invernaderos de producción agrícola.

También tendría cierta repercusión a nivel mundial, sobre todo en zonas de Asia, ya que son los principales productores. También en la India y Australia, ya que son las zonas muy afectadas por la salinidad.

Otra de las entidades que podría estar interesada en este proyecto, sería ASAJA (Asociación de Jóvenes Agricultores), la cual podría orientar a sus agricultores a cerca de la variedad más adecuada a plantar, teniendo en cuenta la calidad del terreno en cuanto a salinidad sobre el que van a trabajar sus clientes.

A la propia Universidad de Jaén, ya que podrá aprovechar este proyecto para realizar nuevos proyectos o estudios relacionados tanto con la fisiología como el metabolismo de plantas. Los alumnos podrán especializarse y aumentar sus conocimientos en el cultivo sin suelo de una forma más visual y realizar trabajos de Fin de Grado y Master.

### **3. HIPÓTESIS**

Dada la gran problemática e impacto social que trae consigo la salinización de los suelos, el diseño de un invernadero para el cultivo sin suelo puede propiciar una herramienta para la selección de las variedades más tolerantes capaces de crecer y dar una buena producción en condiciones de estrés salino. Además, estas variedades seleccionadas podrían tolerar mejor el riego con aguas salobres o de mala calidad, ofreciendo la posibilidad del uso de estas plantas tanto en hidroponía como en suelo.

Por lo tanto, el estudio propuesto en invernadero utilizando el cultivo sin suelo, puede ofrecer información de gran interés, que nos permitirá estudiar de forma más precisa el efecto del estrés salino en la planta, sin interacción con otros factores ambientales.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1. Objetivo general**

En la búsqueda de una solución a la creciente acumulación de iones salinos en los suelos cercanos a la cuenca mediterránea, este proyecto, tiene como objetivo general diseñar un sistema de cultivo sin suelo en invernadero con la intención de buscar alternativas de mejora del crecimiento y producción de *Cucumis sativus* en condiciones de estrés salino, y ofrecer una opción viable y respetuosas con el medio ambiente para este problema ambiental. Además, se puede ofrecer una opción para el uso de aguas de mala calidad en el riego.

## **4.2. Objetivos específicos (OE)**

- **(OE 1).** Construcción de un invernadero para el cultivo sin suelo.
- **(OE 2).** Selección de variedades de *Cucumis sativus* tolerantes a la salinidad.
- **(OE 3).** Mejora de la tolerancia a la salinidad de *Cucumis sativus* por pretratamiento con reguladores del crecimiento.

## **4.3. Plan de contingencia para resolver posibles dificultades**

El mantenimiento de los experimentos (Campus Las Lagunillas) estaría a cargo de un miembro que acudiría a la universidad. Las muestras se conservarán a -80°C o en nitrógeno líquido hasta su posible análisis.

# **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

## **5.1. Metodología y plan de trabajo**

La metodología usada para realizar los objetivos específicos y el plan de trabajo se desarrollan a continuación.

### **OE 1.** Construcción de un invernadero para el cultivo sin suelo

La construcción del invernadero se realizará, en las instalaciones del campus de Las Lagunillas de la Universidad de Jaén. La ubicación geográfica es 37°47'23.2" latitud norte y 3°46'52.0" latitud oeste la altura elipsoidal será de 527.754 m.

La metodología que se va a llevar a cabo la desglosaremos en el orden en el que se realizarán.

#### **OE 1.1.** Construcción del invernadero

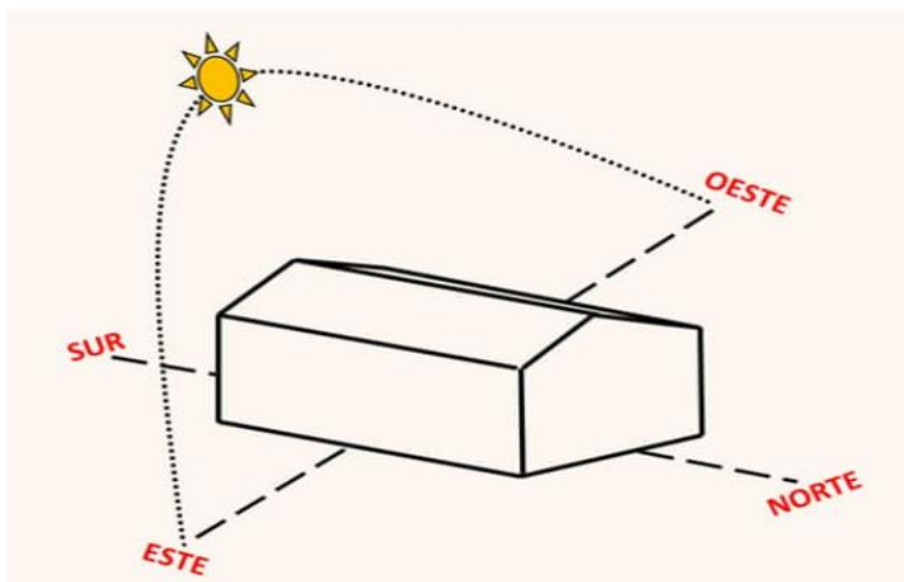
Vamos a utilizar un invernadero tipo túnel (Figura 5.1), ya que es uno de los más fáciles de instalar, siendo muy resistente a los vientos, tiene abundante transmisión solar hacia las plantas y se puede construir tanto con materiales rígidos como flexibles. Además es muy recomendable para producción hortícola como sería

nuestro caso. Las dimensiones del invernadero serán de 16 x 12 m, cuya distribución interna aclararemos más adelante.



**Figura 5.1.** Invernadero tipo Túnel. (plantflor.es 2016).

Otro aspecto a tener en cuenta es la orientación del invernadero, ya que de ello dependerá la transmisibilidad de radiación que vamos tener en el interior. El invernadero lo orientaremos para obtener una captación de la radiación por parte de las plantas lo más óptima y uniforme posible. Para controlar dicho parámetro, la orientación será de norte a sur, ya que si lo hiciéramos de este a oeste la sombra iría cambiando a lo largo del día (Figura 5.2).



**Figura 5.2.** Disposición del invernadero con respecto al sol. (<https://www.intagri.com>).

Además para evitar la entrada de plagas al invernadero, equiparemos este con una doble puerta.

Para guiar las plantas y beneficiar la función trepadora de las cucurbitáceas, instalaremos un sistema de alambres por encima de cada hilera para ir guiando a la planta a medida de que esta va creciendo (Figura 5.3).



**Figura 5.3.** Descripción gráfica de cómo se realizará el tutorado de las plantas. [www.utadeo.com](http://www.utadeo.com).

Por último se instalará un climatizador que mantenga el invernadero a una temperatura de 18-19°C durante la noche y a 21-25°C durante el día. La instalación de un climatizador también nos ayudará a evitar los grandes saltos térmicos que existen entre el día y la noche, los cuales perjudicarían en gran medida a nuestras plantas.

Antes de comenzar con la instalación de los sistemas de riego, vamos a esparcir unos centímetros de gravilla para obtener un suelo lo más uniforme posible, sobre el que posteriormente colocaremos los contenedores con el sustrato donde irán colocadas las plantas. Además para evitar el contacto directo de la gravilla con el suelo y evitar que esta se pueda contaminar colocaremos una capa de film de

polietileno para así también evitar que las raíces de la planta puedan tener contacto con el suelo del terreno en el que se sitúa el invernadero.

### **OE 1.2.** Instalación del sistema de riego sin suelo

Los contenedores donde irán situadas las plantas, estarán llenos de lana de roca, que es un sustrato inorgánico, ya que en los sustratos orgánicos la salinidad que es el factor clave de nuestro estudio puede ser elevada y nuestro proyecto perdería exactitud.

La lana de roca es un sustrato que presenta una porosidad de en torno al 96%, lo que supone que la planta pueda aprovechar casi la totalidad del agua retenida en los bloques de lana de roca, lo que beneficia bastante a la absorción y desarrollo de la raíz, pero por otra parte se debe tener cuidado para que siempre esté húmeda. Normalmente la lana de roca puede presentar una cierta alcalinidad por lo que debemos controlar el pH de la solución nutritiva añadiendo ácido para mantener la solución con un pH de entre 5,5-6.

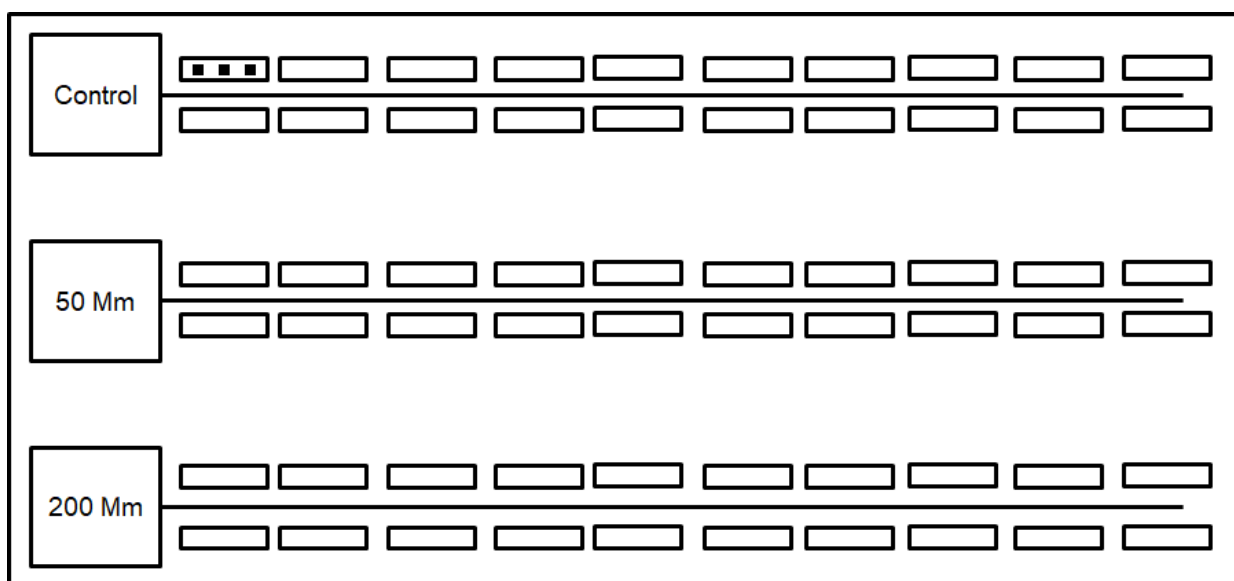
Otro aspecto a tener en cuenta en cuanto a lana de roca es la disposición de sus fibras, ya que en los semilleros la disposición de las fibras deben estar orientadas de forma vertical para promover el crecimiento de la raíz y que esta no tenga problema en avanzar hacia la base del semillero. Por el contrario, la disposición de las fibras de la lana de roca en los contenedores debe ser de forma horizontal, de este modo se favorecerá el avance del agua, será más fácil el drenaje de los contenedores y llegará con más facilidad la solución nutritiva a todas las raíces de las plantas.

La solución nutritiva sobrante va directamente a la zona de desecho, ya que en nuestro caso como el invernadero será utilizado de forma temporal para experimentos concretos, instalaremos un invernadero de solución perdida, es decir no se vuelve a aprovechar la solución nutritiva utilizada. Para aprovechar de nuevo este agua necesitaríamos un equipo de desinfección del drenaje, lo que agravaría mucho más el coste del invernadero y en este tipo de invernadero no saldría rentable, sin embargo, en invernaderos a gran escala sí que sería rentable.



La distribución de los bloques de lana de roca será homogénea en todo el invernadero siguiendo la técnica de doble línea y dejando una distancia de hasta 1,6 m entre hileras y unos 30 cm lateralmente con el siguiente contenedor. Los orificios donde irán situadas las plantas los haremos con moldes de calor para que sean lo más homogéneos posible y dejando una distancia de 30 cm aproximadamente entre orificio y orificio, presentando así una densidad aproximada de 6 plantas por 1,5 m<sup>2</sup>. Finalmente, conectaremos un ramal porta goteros por cada planta, ya que cada ramal llevará incorporado un gotero y este irá pinchado a los bloques de lana de roca de cada planta, que transportarán la solución salina a los orificios realizados (Figura 5.4).

De este modo cada variedad ocupará 4 bloques de lana de roca completos, ya que son 3 plantas por bloque y vamos a emplear 12 plantas de cada variedad.



**Figura 5.4.** Descripción gráfica y esquematizada de la distribución del invernadero y disposición de los tanques de riego. En la imagen podemos distinguir los bloques de lana de roca como los rectángulos más grandes, mientras que los puntos representados en el bloque de arriba a la izquierda sería el espacio aproximado que ocupará cada planta. La línea que sale de los tanques de riego sería la goma guía para el riego.

### OE 1.3. Preparación de la solución nutritiva

Para la elaboración de la solución nutritiva debemos de tener en cuenta que la intención de este proyecto es observar las deficiencias o efectos que sufren las

distintas variedades que vamos a utilizar frente a diferentes concentraciones de salinidad, por lo tanto, vamos a necesitar 3 tanques con soluciones nutritivas, las cuáles van a diferir entre sí únicamente en las concentraciones de salinidad que van a presentar, (micro y macronutrientes serán idénticos). Uno será el tanque control **(Tanque 1)**, es decir, las concentraciones serán las óptimas para el crecimiento de las plantas sin ningún tipo de estrés, por otro lado tendremos un segundo tanque **(Tanque 2)** en el que las concentraciones de salinidad estén por encima de los valores normales (50 mM), y por último tendremos un tercer tanque **(Tanque 3)** el cual tendrá concentraciones de salinidad más altas (200 mM). De tal modo que cada estanque se encargará del riego de 60 plantas. (Figura 5.1).

Es conveniente que los tanques de riego se encuentren enterrados bajo el suelo o bien tapados para evitar la entrada de luz al interior del tanque; se podrá ver la parte superior para poder ver el nivel de la solución y mantener los parámetros de cultivos adecuados. Si los tanques de riego estuvieran en la superficie recibiendo continuamente la radiación solar, sería muy probable la aparición de algas o cualquier otro tipo de microorganismo que pudiera interferir en los resultados o incluso impidiendo un correcto crecimiento y desarrollo de las plantas.

La solución madre debe presentar un pH que oscile entre unos valores de 5 y 6; en el caso que sea más alto habrá que ajustarlo usando un ácido comercial, como sulfúrico, fosfórico o nítrico. En el interior de cada tanque debe de incluirse un pequeño termostato que nos mantenga la temperatura del tanque a unos 22°C, temperatura ideal para la absorción de la planta, así como una pequeña bomba de aire para mantener los niveles de O<sub>2</sub>.

Primeramente vamos a dejar indicadas las concentraciones de micro y macronutrientes que van a llevar por igual cada estanque (Solución madre) y después matizamos las diferentes concentraciones de salinidad que llevará cada tanque. La solución madre que vamos a usar es la solución de Hoagland, cuyas concentraciones y reactivos vienen desglosados en la (Tabla 5.1).

**Tabla 5.1.** Solución nutritiva de Hoagland. (<http://www.fdcea.com>).

| Componente                                              | Solución De Reserva | mL Solucion de reserva/1L |
|---------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------|
| <b>Macronutrientes</b>                                  |                     |                           |
| 2M KNO <sub>3</sub>                                     | 202 g/L             | 2.5                       |
| 1M Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> •4H <sub>2</sub> O | 236 g/0.5L          | 2.5                       |
| Hierro (Sprint 138 quelato de hierro)                   | 15 g/L              | 1.5                       |
| 2M MgSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O                 | 493 g/L             | 1                         |
| 1M NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                      | 80 g/L              | 1                         |
| <b>Micronutrientes</b>                                  |                     |                           |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                          | 2.86 g/L            | 1                         |
| MnCl <sub>2</sub> •4H <sub>2</sub> O                    | 1.81 g/L            | 1                         |
| ZnSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O                    | 0.22 g/L            | 1                         |
| CuSO <sub>4</sub> •5H <sub>2</sub> O                    | 0.051 g/L           | 1                         |
| H <sub>3</sub> MoO <sub>4</sub> •H <sub>2</sub> O or    | 0.09 g/L            | 1                         |
| Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O     | 0.12 g/L            | 1                         |
| fosfato                                                 |                     |                           |
| 1M KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (pH to 6.0)          | 136 g/L             | 0.5                       |

La concentración final de los distintos elementos de la solución de Hoagland quedan de la siguiente forma: N 210 ppm; K 235 ppm; Ca 200 ppm; P 31 ppm; S 64 ppm; Mg 48 ppm; B 0.5 ppm; Fe 5ppm; Mn 0.5 ppm; Zn 0.05 ppm; Cu 0.02 ppm; Mo 0.01 ppm.

Otro aspecto a tener en cuenta para controlar los parámetros de la solución nutritiva es que el agua que utilizaremos debe presentar unos valores de CE próximos 0-0.2 dS m<sup>-1</sup>.

#### **OE 1.4.** Tratamiento con las diferentes concentraciones de NaCl

En lo que a las concentraciones de salinidad se refiere, el valor que vamos a utilizar como control será de 0 mM de NaCl el cual se considera un valor bueno para el crecimiento de las diferentes variedades de *Cucumis sativus*.

- Tanque control (**Tanque 1**) → Concentraciones de salinidad de 0 mM de NaCl.

- Tanque con salinidad baja (**Tanque 2**) → En este estanque las concentraciones de salinidad para estresar a la planta estarían alrededor de 50 mM.
- Tanque con alta salinidad (**Tanque 3**) → Por último preparamos un tercer estanque en el cual los niveles de salinidad estarían mucho más elevados que en el estanque anterior, en este caso con una concentración de 200 mM.

### **OE 1.5. Riego.**

El riego lo vamos a realizar mediante sistema hidropónico abierto. Para el riego del cultivo dispondremos de un temporizador digital que controle los patrones de riego. Para la programación del temporizador vamos a hacer distinción de 2 ciclos de riego, uno al inicio del cultivo en el que se establecerán 7 periodos de riego de 4 min cada uno, desde las 07:00 horas de la mañana hasta las 18:00 horas de la tarde. En el segundo ciclo de riego, aumentaremos la frecuencia de riego a 12 periodos en el mismo intervalo de tiempo que el periodo anterior y aumentando en 1 min si fuera necesario los periodos donde la planta sufre mayores efectos del calor para así evitar que estas sufran de estrés hídrico.

La solución nutritiva se la administraremos a las plantas mediante goteros pinchados que nos dan un manejo más sencillo para su colocación. De este modo nos aseguraremos de que cada planta recibe la misma cantidad de solución nutritiva. Con esto conseguiremos que el riego y la cantidad de nutrientes que recibe nuestra planta sea lo más homogénea posible. Dispondremos de una goma guía de 16 mm de diámetro en medio de cada dos hileras de bloques de lana de roca, de la cual derivarán unas gomas de riego de menor tamaño, que estarán dispuestas de los goteros. Usaremos un gotero por cada planta, pinchado en el bloque de cada una, es decir, un total de 180 goteros. Utilizaremos goteros autocompensantes, para mantener un caudal constante todo el tiempo independientemente de la presión que estos reciban. Los bloques o tablas de lana de roca empleados serán de 90 cm de largo por 30 de ancho. Tendrán 3 huecos cada uno donde colocaremos nuestras plantas separadas a una distancia aproximada de 30 cm, dejando 5 cm en cada extremo del bloque de lana de roca.

## **OE 2.** Selección de variedades de *Cucumis sativus* tolerantes a la salinidad

Las variedades sobre las que vamos a realizar nuestro proyecto son 5 tipos de genotipos diferentes pertenecientes a la especie *Cucumis sativus*. Cinco variedades comerciales de pepino con bastante repercusión en el mercado actual, puesto que nuestro objetivo es conocer cómo sacar el máximo rendimiento de este cultivo en un terreno salino.

A continuación se va a hacer una breve descripción de los caracteres de las plantas de *Cucumis sativus*. Es una especie que incluye a plantas herbáceas, rastreadoras o trepadoras si se guían mediante tutorado. La planta del pepino, presenta una gran envergadura, pudiendo alcanzar hasta los 2 metros. El tamaño de sus hojas, hace que sea muy frondosa y atractiva para los parásitos (Reche, 2011). Poseen un gran sistema radicular debido a la gran productividad de la planta, además, tiene la capacidad de emitir raíces adventicias por encima del cuello (CENTA, 2003). El tallo principal, posee una gran cantidad de tricomas y tiene un aspecto anguloso. Su naturaleza es rastreadora, si se deja crecer libremente o trepadora si se guía. De cada nudo parte una hoja y un zarcillo. Las hojas son pecioladas, divididas en 3-4 lóbulos, siendo el lóbulo central más puntiagudo. Por el envés se aprecian los nervios muy pronunciados y tienen un tacto áspero (Reche, 2011). El fruto tiene una forma de cilindro alargado y dependiendo del cultivo, pueden oscilar entre 15-35 cm de longitud. Es un fruto carnoso de aspecto verrugoso (CENTA, 2003). Las flores poseen pétalos amarillos y un pequeño pedúnculo. Pueden ser hermafroditas o unisexuales y aparecen en la axilas de las hojas (Reche, 2011). Las semillas tienen un aspecto liso, ovalado, y aplastadas. Se encuentran en el interior de fruto y su facultad germinativa puede durar hasta 4 o 5 años (Reche, 2011).

### **OE 2.1.** Selección de las variedades de *Cucumis sativus* objeto de estudio

Junto con las variedades utilizadas, se indican también, las medidas estándares que caracterizan a dichas variedades. Estos parámetros serán los utilizados para comparar los resultados obtenidos.

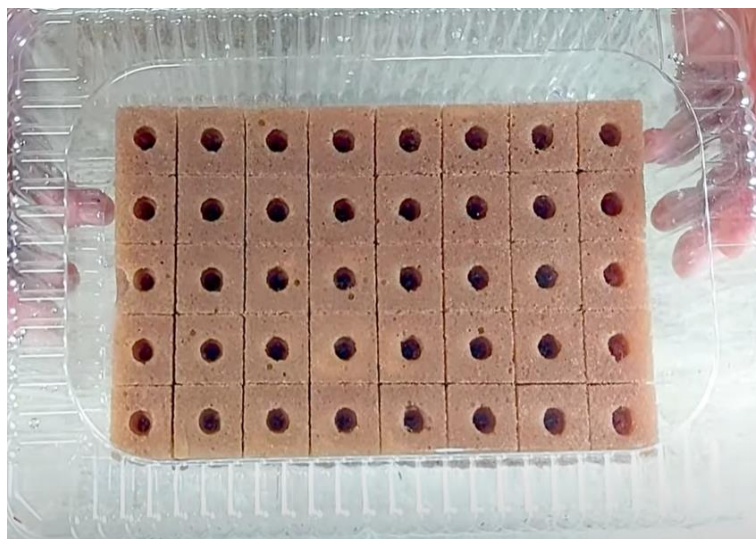
Las variedades son las siguientes:

- **Monalisa F1** → Es una variedad con origen en el Sudeste asiático. El fruto, presenta un tamaño de unos 20 cm de largo por unos 4-5 m de diámetro.
- **Modan RZ F1** → En este caso, es de origen francés, y presenta un tamaño algo mayor que el anterior, rondando los 22 cm de longitud.
- **Tropicuke** → Las características de esta variedad recaen sobre la maduración temprana (45-50 días). Longitud media del fruto de 24 cm.
- **Zapata** → En este caso, la variedad ronda entre los 33-35 cm sin cuello alto y presenta un atractivo color verde oscuro.
- **Lisboa** → Pepino de tamaño entre 20 a 25 cm con pocas espinas, muy liso. Excelente rendimiento, y rápida maduración (unos 43 días) Frutos rectos y excelente llenado interno.

## OE 2.2. Germinación de las semillas

Durante el transcurso de la instalación del invernadero pondremos las semillas a germinar para que todo fluya al mismo tiempo intentando hacer coincidir la finalización del invernadero con el trasplante de la plántula.

Las semillas las germinaremos en los mismos cubos de lana de roca que vamos a utilizar posteriormente, para ello vamos a utilizar agua destilada para prevenir la aparición de algas. El pH del agua de riego debe estar entre 4 y 5.5. Colocamos la lana de roca en cajas de plástico que se puedan cerrar para mantener la humedad, la saturamos con agua y la dejamos 24 h en remojo. Retiramos el exceso de agua y colocamos la semilla en los orificios (Figura 5.3).



**Figura 5.3.** Disposición de las semillas para su germinación.  
(www.youtube.com)

Estas cajas las introduciremos en unas cámaras de crecimiento que nos permitan mantener la temperatura en el interior del recipiente entre unos 24 y 30°C durante 7 a 10 días.

Pasado este tiempo de 10 días, comenzaremos a regar con la solución de Hoagland. Pasadas 3 o 4 semanas las plántulas ya tendrán un tamaño suficientemente grande y se trasplantarán al sistema hidropónico.

Necesitaremos un total de 200 semillas, ya que usaremos 36 plántulas de cada variedad (12 para cada tanque de riego) y para asegurarnos que tenemos 36, plantaremos 4 semillas de más, de cada una, por si alguna se estropea, es decir, plantaremos 40 semillas de cada variedad.

### **OE 2.3.**Trasplante de las plántulas

Una vez que las plantas han alcanzado un tamaño adecuado (un mes aproximadamente), cuando las plántulas presenten 4 hojas verdaderas. Las trasplantaremos con el menor riesgo posible a las bandejas de lana de roca situadas en el invernadero de cultivo sin suelo que ya tendremos construido y preparado para el desarrollo de estas plantas. Antes de realizar el trasplante es muy importante que todo el sistema de riego quede totalmente desinfectado con hipoclorito de sodio al 1% y lavado con agua posteriormente. Las plántulas, serán trasplantadas a los sacos de lana de roca, los cuales serán regados con solución de Hoagland ( $\text{pH } 6,6 \pm 0,1$ ,  $\text{CE } 1,8\text{--}2,0 \text{ dsm}^{-1}$ ). Se trasplantarán 12 plántulas de cada variedad a cada una de las tres hileras diferentes, que serán regadas con las distintas soluciones

nutritivas. La distribución de las variedades dentro de cada hilera será aleatoria para que el estudio sea lo más homogéneo posible.

Antes de colocar los cubos de lana de roca con las plantas en las bandejas, estas deben saturarse con agua anteriormente, por medio de los goteros de riego, para que posteriormente la solución nutritiva tenga una mayor fluidez. El trasplante lo realizaremos a una hora en la que no haga excesivo calor, es decir, a primera hora de la mañana o lo que es mejor, a última hora de la tarde con el fin de mantener siempre húmedos los cubos de lana de roca. Una vez realizado el trasplante debemos colocar los goteros de una forma similar a la mostrada en la (Figura 5.4).



**Figura 5.4.** Plántula trasplantada a sistema hidropónico. Fitosofia.blogspot.com.

#### **OE 2.4.** Aplicación del tratamiento salino

Una vez colocadas las plantas en sus correspondientes posiciones, ya especificadas en apartados anteriores, simplemente hay que controlar la conductividad eléctrica de la solución nutritiva e ir añadiendo nueva solución cuando sea necesario, para que las plantas no sufran un déficit nutritivo. Al estar todo automatizado gracias al temporizador digital, el mantenimiento y atención es mínimo.



La aplicación de las diferentes concentraciones de salinidad se hará de forma progresiva para evitar que las plantas sufran un choque osmótico.

#### **OE 2.5. Recogida de muestras, conservación y análisis**

Pasados 70 días de la siembra, ya tendremos nuestros primeros frutos y podremos proceder a la recolección de muestras tanto de la planta como de los frutos. Primero realizaremos la recolección de muestras de los frutos, ya que una vez tomadas las muestras de la planta habrá que desecharlas.

Para la conservación de las muestras vamos a utilizar nitrógeno líquido, para poder conservar todas las propiedades de la muestra.

Tendremos indicios de que el fruto está listo para su recolección, una vez que el zarcillo del fruto esté seco y las espinas de los frutos comiencen a desaparecer. Para el análisis de los frutos mediremos y analizaremos las siguientes variables:

- **Longitud del fruto (cm):** Mediremos de extremo a extremo 15 pepinos distinguiéndolos por tratamiento de salinidad recibido y variedad.
- **Diámetro del fruto (cm):** Igual que el anterior parámetro, pero en este caso habrá que cortar el fruto por la mitad para determinar el diámetro.
- **Edad al inicio de la cosecha (ddt):** Para obtener la fecha de inicio de la cosecha apuntaremos desde el día de trasplante hasta el día de la recolección de los primeros frutos.
- **Número de frutos totales por planta.** Determinación de los frutos totales por planta.
- **Peso del fruto (g):** Se recogerá el peso de 15 pepinos de cada tipo y se pesarán.
- **Rendimiento por planta (g/planta):** Finalmente, veremos qué tipo de plantas han obtenido un mayor rendimiento según sus condiciones de crecimiento, dividiendo los Kg totales producidos en cada apartado de plantas entre las 15 plantas de cada tipo.

La recogida de muestras de planta, las realizaremos una vez finalizada la cosecha, ya que para medir algunos parámetros como la raíz, necesitaremos retirar la planta del sistema hidropónico y desecharla.

Para comprobar si el crecimiento de las plantas regadas con las distintas soluciones nutritivas, es distinto, dentro de la misma variedad, mediremos los siguientes parámetros:

- **Altura del tallo (cm)** → Para medir la altura del tallo, tomaremos como referencia desde el nivel del suelo hasta la zona apical del mismo. Tomaremos las mediciones de 7 plantas elegidas al azar de cada tipo.
- **Longitud de la raíz (cm)** → Una vez finalizado el estudio, se extraerá la planta del sistema de riego con cuidado y se realizará la medición de la raíz de 7 plantas de cada tipo elegidas al azar.
- **Diámetro del tallo (cm)** → Realizaremos la medición de 7 tallos de cada especie elegidos al azar. Para medir este parámetro, lo haremos con ayuda de un pie de rey.
- **Número de hojas por planta** → Realizaremos un recuento de las hojas de 7 plantas de cada tipo.
- **Relación raíz/parte aérea (R/PA)** → Es el peso seco (PS) de raíz respecto al peso seco de parte aérea y lo determinaremos mediante la fórmula:

$$R/PA = PS \text{ raíz} / (PS \text{ tallo} + PS \text{ hoja})$$

La toma de muestras de las hojas para realizar los análisis de concentración  $Na^+$ ,  $Cl^-$  y  $Ca^{2+}$ , lo realizaremos escogiendo las plantas de una forma aleatoria. Para que la toma de muestras sea lo mas homogénea posible, cogeremos hojas situadas más o menos a la misma altura de las diferentes plantas seleccionadas y orientadas en la misma dirección.

Determinaremos las concentraciones de  $Na^+$ ,  $Cl^-$  y  $Ca^{2+}$  aplicando los Métodos Oficiales de Análisis del MAPA (Orden Ministerial 17/9/81, BOE nº 246; Soria, 2002). Para ello cogeremos 2 g de tejido vegetal seco y molido y lo mediremos por espectrofotometría de emisión-absorción atómica (PerkinElmer AAnalyst 800). Para ello incineraremos el material vegetal a 450°C durante 24h en un horno-mufla y de que se enfríe, atacaremos las cenizas mediante hidrólisis ácida con 3 ml de  $H_2O$  destilada y 2 ml de HCl 37%. Para que la reacción se lleve a cabo correctamente, calentaremos los crisoles a 250°C en una placa calefactora. El contenido obtenido, lo filtraremos y se enrasará hasta 100 ml con HCl 2%, se medirá por

espectrofotometría de emisión-absorción atómica (PerkinElmer AAnalyst 800) y se expresará el contenido de nutriente en %.

Para el análisis de prolina, utilizaremos el método empleado por Shan et al. (2007). Cogemos 500 mg de hoja fresca, lo mezclaremos con 5 ml de ácido sulfosalicílico al 3%, lo dejamos en agitación a 100°C durante 10 min y se filtra. Después usaremos el método descrito por Shan et al. (2007). Se usan 2 ml del extracto anterior y los mezclamos con 2ml de ácido acético frío y 2 ml de ácido ninhídrico (1,25 g de ninhidrina, 30 ml de ácido acético glacial y 20 ml de ácido ortofosfórico 6 M). Lo calentamos a 100°C durante media hora, cuando este frío, lo enfrentaremos con 4 ml de tolueno. Finalmente medimos la absorbancia a una longitud de onda de 520 nm. Expresaremos los resultados en  $\mu\text{g}$  de prolina ( $\text{g FW}^{-1}$ ).

Determinaremos la tasa fotosintética usando el medidor de fotosíntesis portátil IRGA, este aparato nos permitirá medir también, la conductancia estomática, transpiración y  $\text{CO}_2$  sub estomático. Una disminución de la fotosíntesis nos da indicios de que la planta está estresada y adecuándose al ambiente salino.

Para medir el estrés oxidativo, haremos las siguientes determinaciones:

Actividad superóxido dismutasa (SOD), para ello vamos a emplear el método utilizado por Xu et al. (2008).

Actividad peroxidasa que la mediremos de acuerdo con el método de Kochba et al. (1977). Definimos una unidad de actividad como la cantidad de enzima requerida para aumentar 1 unidad de absorbancia medida a 470 nm min.

Contenido de malondialdehído (MDA) ya que es el primer producto de la peroxidación lipídica y es utilizado como un marcador de daño oxidativo en la planta. Su concentración va variando en función del tipo y duración del estrés (Bai et al., 2010). Para medirlo utilizaremos el método de Zhang et al. (2005); para el cálculo del contenido de MDA se usará la siguiente fórmula:

$$\text{MDA } (\mu\text{ mol g}^{-1} \text{ FW}) = 6.45 \times (\text{A}_{532} - \text{A}_{600}) - 0.56 \times \text{A}_{450}$$

## **OE 2.6.** Análisis estadístico de los resultados

Para analizar estadísticamente, los datos obtenidos, utilizaremos el programa statgraphics. Expresaremos los valores medios  $\pm$  error estándar (SE). Para observar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las 3 medias obtenidas, de las diferentes variedades y de los diferentes parámetros medidos, realizaremos un análisis de la varianza y una prueba de rango múltiple de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

En el caso de que sí existan diferencias significativas tendremos que desglosar a qué concentraciones de salinidad ocurren dichas diferencias y si esto ocurre en todas las variedades.

**OE 3.** Mejora de la tolerancia a la salinidad de *Cucumis sativus* por pretratamiento con reguladores del crecimiento

Con la intención de enriquecer nuestro proyecto, vamos a realizar una segunda tanda de cultivo, en este caso serán el mismo tipo de plantas pero le añadiremos un pretratamiento con reguladores de crecimiento.

Como reguladores del crecimiento vamos a utilizar:

**Poliaminas**, concretamente, espermidina (Spd), ya que existen estudios como el de Duan et al. (2008) que sugieren que la (Spd) confiere tolerancia a la salinidad a corto plazo en el pepino, probablemente a través de la inducción de enzimas antioxidantes y osmolitos. Las poliaminas se han relacionado con la actividad celular, crecimiento y desarrollo vegetal, senescencia, protección frente a estreses bióticos y abióticos y otros muchos procesos como la germinación o el desarrollo del fruto (Carbonell et al., 2000).

**Ácido salicílico (AS)**, ya que hay estudios como el de Larqué, A. y Martín, R. (2007), que afirman que el AS mejora la bioproductividad de las plantas hortícolas sin afectar a la calidad de los frutos, debido al efecto positivo del AS sobre la raíz y su densidad.

### **OE 3.1. Germinación de las semillas**

Antes de la germinación realizaremos una esterilización en superficie con hipoclorito sódico 1% durante 10 min y después las lavaremos con agua corriente. Las semillas, las haremos germinar en pequeños cubos de lana de roca humedecidos con agua destilada para mantener el mismo método empleado para la germinación de la otra tanda de plantas. Las introduciremos en la cámara de cultivo a 29°C.

Vamos a emplear 36 semillas de cada variedad, que serán las mismas variedades que las utilizadas en la tanda anterior. Aunque solo vamos a utilizar 36 plantas de cada variedad, germinaremos 4 más de cada tipo por si alguna no germina correctamente.

### **OE 3.2. Trasplante de plántulas**

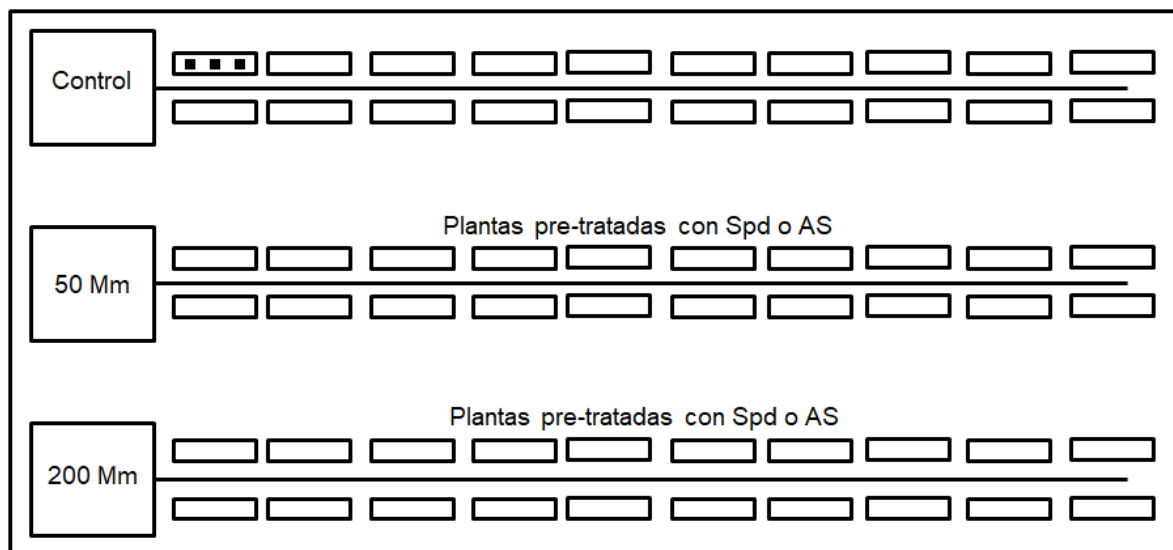
El trasplante se realizará cuando las plántulas presenten 4 hojas verdaderas y lo realizaremos siguiendo los mismos pasos que se explican en el **OE 2.3**.

El trasplante se realizará al invernadero de cultivo sin suelo que ya tendremos construido y preparado para el desarrollo de estas plantas. Antes de realizar el trasplante es muy importante que todo el sistema de riego quede totalmente desinfectado con hipoclorito de sodio al 1% y lavado con agua posteriormente.

Las plántulas, serán trasplantadas a los sacos de lana de roca, los cuales serán regados con solución de Hoagland ( $\text{pH } 6,6 \pm 0,1$ ,  $\text{CE } 1,8\text{--}2,0 \text{ dsm}^{-1}$ ). Se trasplantarán 6 plántulas de cada variedad a cada una de las tres hileras diferentes, que posteriormente, serán regadas con soluciones nutritivas iguales, pero diferentes concentraciones de NaCl.

La disposición de las plantas en el invernadero será totalmente aleatoria, siempre que haya 6 plantas de cada variedad regadas por un tanque de riego distinto, de este modo evitamos problemas que puedan interferir en nuestro proyecto como la radiación solar que llega a cada variedad de planta. La densidad será de 6 plantas cada  $1,5 \text{ m}^2$  y la distancia entre planta y planta será de 30 cm lateralmente y 1,6 m entre hileras (Figura 5.5). Cada planta estará regada por su propio gotero

autocompensante, que irá pinchado en el bloque de lana de roca en el pie de la planta.



**Figura 5.5.** Disposición de las plantas en el invernadero de acuerdo con el tratamiento de salinidad que van a recibir y el pretratamiento con reguladores del crecimiento. En la figura, se puede observar que cada tanque se encarga del riego de 60 plantas, las cuales vienen definidas por los puntos del bloque situado arriba a la izquierda de la figura.

### OE 3.3. Aplicación de los pretratamientos con reguladores del crecimiento

Después del periodo de adaptación (3 semanas en condiciones hidropónicas) realizaremos el pretratamiento a las plantas con los reguladores del crecimiento aplicados a la solución nutritiva con las siguientes concentraciones:

- Espermidina (Spd): (0.5 mM)
- Ácido salicílico (AS): (0.5 mM)

Cada pretratamiento se lo aplicaremos a 6 plantas de cada variedad.

Aplicaremos el pretratamiento a las plantas durante 10 días y después le aplicaremos el tratamiento salino.

### OE 3.4. Aplicación del tratamiento salino

Para el tratamiento salino, vamos a tener tres tanques con 3 concentraciones de NaCl distintas. Un tanque será el tanque control en el que no se aplicará tratamiento salino, otro tanque tendrá una concentración de NaCl de 50 Mm y el

tercer tanque de riego tendrá 200 mM de concentración salina. Las concentraciones de salinidad se irán suministrando poco a poco hasta alcanzar los niveles requeridos para que las plantas no sufran un choque osmótico.

### **OE 3.5. Recogida de muestras, conservación y análisis**

Realizaremos la recogida de muestras de la misma forma que describimos anteriormente en el **OE 2.5**. Las muestras las conservaremos en nitrógeno líquido para que no pierdan ninguna de sus propiedades. Nuevamente primero realizaremos el análisis de frutos, donde mediremos los siguientes parámetros: Longitud del fruto (cm), diámetro del fruto (cm), edad del inicio de la cosecha, Nº de frutos totales por planta, peso medio del fruto y el rendimiento por planta ( $\text{Kg/m}^2$ ). Posteriormente mediremos el crecimiento vegetativo mediante el número de hojas, altura del tallo (cm), longitud de la raíz (cm), diámetro del tallo (cm) y la relación raíz/parte aérea.

Para determinar el nivel de estrés que presenta cada tipo de planta, mediremos los niveles de prolina, concentraciones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en hojas y las enzimas antioxidantes a través de la actividad superóxido dismutasa (SOD), peroxidasa y el contenido de MDA. Para medir dichos parámetros utilizaremos los métodos ya citados en el apartado **OE 2.5**.

### **OE 3.6. Análisis estadístico y de los resultados**

Compararemos los resultados obtenidos tras las 2 tandas de cultivo realizadas, para así poder observar si el pretratamiento con los reguladores del crecimiento realmente ayuda a las plantas a tolerar la salinidad.

Expresaremos los valores medios  $\pm$  error estándar (SE). Realizaremos un análisis de la varianza y una prueba de rango múltiple de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Compararemos que variedad resiste mejor el estrés salino y si el tratamiento con Spd o AS mejora su tolerancia.

## **5.2. Recursos materiales y equipamiento disponible**

Formaremos un equipo de investigación formado por un/a técnico/a, un/a biólogo/a y un/a ingeniero/a agrónomo. El proyecto se realizará en los laboratorios

de la Universidad de Jaén (Campus Las Lagunillas) que cuentan con: 1 centrífuga de mesa refrigerada, 3 agitadores magnéticos, 2 pH-metros, 2 balanzas de precisión, laboratorio para procesamiento de muestras, 1 espectrofotómetro y 1 liofilizador, 1 concentrador de vacío, 2 refrigeradores, 1 incubadora y otros equipos relacionados con la fisiología vegetal.

Además se dispondrá de los servicios técnicos para la conservación de muestras, en el Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología que tenemos congelador -80°C. También cuenta con el Servicio Central de Apoyo a la Investigación (SCAI) de la Universidad de Jaén (Las Campus Lagunillas), con capacidad para analizar todos los parámetros incluidos en el proyecto. Hay 4 cámaras de crecimiento, espectrofotómetros, HPLC, cromatógrafos de gases, tanque de nitrógeno líquido, más congeladores -80°C, y diferentes laboratorios totalmente equipados para desarrollar el proyecto (<https://www.ujaen.es/servicios/scai/centro-de-instrumentacion-cientifico-tecnica-cict/areas-del-cict/area-de-analisis-y-determinacion-5>).

Se han organizado los materiales en función del objetivo que se va a llevar a cabo con ellos (Tabla 5.2).

Cabe resaltar que vamos a utilizar goteros pinchados, esto nos facilitará su colocación. Serán goteros autocompensantes, para mantener el caudal constante, independientemente de la presión que les llegue.

Con el alambre realizaremos el tutorado de las plantas para que estas puedan desarrollar su actividad trepadora.

Necesitaremos un total de 180 goteros que saldrán de unas gomas de menor diámetro, provenientes de la goma guía y para orientar cada goma necesitaremos codos.

Emplearemos los moldes de calor para realizar los orificios donde irán situados los bloques de menor tamaño de lana de roca para agilizar el proceso y reducir la mano de obra, utilizaremos unas tijeras para abrir unos pequeños orificios de drenaje a los bloques de lana de roca para que la solución nutritiva no se quede estancada.



**Tabla 5.2.** Desglose de los materiales que serán necesarios para llevar a cabo el proyecto de una forma óptima.

| <b>Materiales</b>            | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Utensilios para siembra      | Semilleros, cámara de cultivo, semillas, cubos de lana de roca , hipoclorito sódico, bandejas de plástico, moldes de calor y solución nutritiva                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Utensilios para el cultivo   | Goteros, tablas de lana de roca, gomas de riego, codos, reguladores del crecimiento y alambre.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Utensilios para el riego     | Bombas de agua Súper Eco 3600L/h, tanques de riego, medidor de pH y CE, solución nutritiva, NaCl, bomba de aire APS 50 y termómetros.                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Utensilios para los análisis | Tijeras, cinta métrica, bandejas, ordenador, programa estadístico (Statgraphic), espectrofotómetro de absorción atómica, medidor de fotosíntesis IRGA LCPro T y LCi T, papel, bolígrafo estufa, agitador ninhidrina, ácido nítrico, ácido orto fosfórico, micropipetas, morteros de porcelana, agua destilada, botes opacos, gradillas, centrífugas y tubos de centrífugas, papel de aluminio, mufla, tolueno y un pie de rey. |
| Para la recogida de muestras | Guantes, tijeras, pinzas, nitrógeno líquido, y cubos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Para la infraestructura      | Grava, plástico, climatizador, film de polietileno y policarbonato                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

### 5.3.Cronograma

Las tareas anteriores se realizarán siguiendo el orden y atendiendo a los tiempos indicados en los cronogramas de las (Tabla 5.3) y (Tabla 5.4).

En todo momento las actividades las llevará a cabo un biólogo especializado. Además, en casos puntuales, se recurrirá a otros especialistas; el montaje del invernadero lo realizará una empresa especializada. En la puesta a punto del invernadero, se contará con la ayuda de un ingeniero agrónomo/a, especializado.

Cronograma del proyecto. Se ha separado cada mes en 10 días para llevar un control más exacto y preciso de las actividades.

**Tabla 5.3.** Cronograma de la construcción del invernadero, desarrollo y análisis de la primera tanda de plantas cultivadas.

| Cronograma                                                                                           |     |   |   |     |   |  |     |   |   |     |   |   |     |   |   |     |   |   |     |  |  |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|---|-----|---|--|-----|---|---|-----|---|---|-----|---|---|-----|---|---|-----|--|--|--|--|
|                                                                                                      | Feb |   |   | Mar |   |  | Abr |   |   | May |   |   | Jun |   |   | Jul |   |   | Ago |  |  |  |  |
| Construcción del invernadero y puesta a punto                                                        | x   | x | x | x   |   |  |     |   |   |     |   |   |     |   |   |     |   |   |     |  |  |  |  |
| Preparación de semilleros y germinación                                                              |     |   |   | x   | x |  |     |   |   |     |   |   |     |   |   |     |   |   |     |  |  |  |  |
| Cuidado de las plántulas                                                                             |     |   |   |     | x |  |     |   |   |     |   |   |     |   |   |     |   |   |     |  |  |  |  |
| Trasplante y mantención de las plantas en el sistema hidropónico y aplicación del tratamiento salino |     |   |   |     |   |  | x   | x | x | x   | x | x |     |   |   |     |   |   |     |  |  |  |  |
| Recogida de muestras, análisis, conservación y análisis estadístico                                  |     |   |   |     |   |  |     |   |   |     |   |   | x   | x | x | x   | x | x | x   |  |  |  |  |

**Tabla 5.4.** Cronograma del desarrollo y análisis de la segunda tanda de plantas a las que le vamos a aplicar un pretratamiento antes de someterlas a estrés salino junto con el plan de difusión de los resultados.

| Cronograma                                    |     |   |  |     |   |   |     |   |   |     |   |  |     |   |   |    |   |   |   |  |  |  |  |
|-----------------------------------------------|-----|---|--|-----|---|---|-----|---|---|-----|---|--|-----|---|---|----|---|---|---|--|--|--|--|
|                                               | Ago |   |  | Spt |   |   | Oct |   |   | Nov |   |  | Dic |   |   | En |   |   |   |  |  |  |  |
| Germinación de semillas (2º tanda)            | x   | x |  |     |   |   |     |   |   |     |   |  |     |   |   |    |   |   |   |  |  |  |  |
| Trasplante de plántulas (2º tanda)            |     |   |  | x   |   |   |     |   |   |     |   |  |     |   |   |    |   |   |   |  |  |  |  |
| Aplicación de los pretratamientos             |     |   |  | x   |   |   |     |   |   |     |   |  |     |   |   |    |   |   |   |  |  |  |  |
| Aplicación de los tratamientos salinos        |     |   |  |     | x | x | x   | x | x | x   |   |  |     |   |   |    |   |   |   |  |  |  |  |
| Recogida de muestras, análisis y conservación |     |   |  |     |   |   |     |   |   | x   | x |  |     |   |   |    |   |   |   |  |  |  |  |
| Análisis estadístico                          |     |   |  |     |   |   |     |   |   |     |   |  | x   | x | x |    |   |   |   |  |  |  |  |
| Divulgación de los resultados                 |     |   |  |     |   |   |     |   |   |     |   |  |     |   |   |    | x | x | x |  |  |  |  |

## 6. PLAN FINANCIERO

En la (Tabla 6.1), se puede observar lo que sería una estimación del presupuesto necesario para llevar a cabo el proyecto.

En el plan financiero se ha ajustado el sueldo de los especialistas, a los días de intervención de estos, ya que el ingeniero/a agrónomo solo estará presente en la puesta a punto del invernadero, que se estima que puede durar unas 2 semanas. En el caso del empleado/a, solo será necesario durante los meses de recogida de muestras y análisis de datos ya que los meses de crecimiento de las plantas al estar todo automatizado, con la revisión y mantenimiento del biólogo/a encargado de realizar el proyecto, será suficiente.

**Tabla 6.1** . Plan financiero del proyecto.

| Plan financiero                                                             |                                                                                 |                |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Material fungible</b>                                                    | Gomas, semillas, semilleros, alambre, reactivos, solución nutritiva, goteros... | 1.000 €        |
| <b>Invernadero</b>                                                          | Materiales, adecuación del terreno, jornales...                                 | 9.500 €        |
| <b>Bombas de agua Súper Eco 3600 L/h</b>                                    | 3 Unidades X 85€/unidad =                                                       | 255 €          |
| <b>Bloques de lana de roca</b>                                              | 30 unidades X 7,5€/unidad=                                                      | 225 €          |
| <b>Climatizador y medidor de fotosíntesis Portátil IRGA LCPro T y LCi T</b> | Climatizador. 1 Unidad X 235€/unidad                                            | 5.735 €        |
|                                                                             | Medidor de ffotosíntesis Portátil IRGA LCPro T y LCi T 1 Unidad X 5500€/unidad  |                |
| <b>Recursos humanos</b>                                                     | Ing. Agrónomo/a. 15días =                                                       | 1.500 €        |
|                                                                             | Biólogo/a especializado/a. 12 Meses X 1850€ =                                   | 22.150€        |
|                                                                             | Empleado/a. 11 Meses X 1100€                                                    | 12.100€        |
|                                                                             | Dietas. 590 jornales X 26€/día                                                  | 15.340€        |
|                                                                             | <b>Total =</b>                                                                  | <b>67.805€</b> |

## 7. IMPACTO CIENTÍFICO-TÉCNICO

### 7.1. Impacto científico-técnico

Con el cambio climático, aumenta el nivel del mar es cada vez mayor, aumentando así las zonas de intrusión de las aguas salinas en los continentes. Actualmente hay ya alrededor de unos 954 millones de hectáreas (Mha) afectadas por la salinización de los suelos y las pérdidas de productividad rondan entre el 7 y 8%. Europa aporta un 3,3% de la salinización mundial, teniendo unas 30,7 Mha, destacando la zona de la costa mediterránea. A nivel mundial las zonas peor paradas son Pakistán, China, Estados Unidos, India, Argentina, Sudán y muchos países de Asia central y occidental. La amenaza de la salinidad, ha centrado la atención de todo el mundo y cada vez se realizan más estudios sobre plantas capaces de tolerar la salinidad o con los mejores mecanismos de adaptación. La población mundial va aumentando exponencialmente, mientras que las tierras de cultivo se van reduciendo a causa de la contaminación y el cambio climático, por lo tanto encontrar las variedades que mejores se adapten a estas condiciones es de primera necesidad.

Curiosamente, los principales productores de pepino, (China, Turquía, España, Ucrania, Japón...) se encuentran en zonas que sufren las consecuencias de la salinización del suelo, de ahí la necesidad de adaptar este tipo de cultivo a los suelos con altas concentraciones de sales.

Por otro lado, el desarrollo de un invernadero para el cultivo sin suelo, es hoy en día una de las herramientas más punteras para el desarrollo de este tipo de proyectos, lo que hará que la Universidad de Jaén sea una universidad referente a nivel mundial, en cuanto a la realización de estudios en cultivo sin suelo.

Con respecto al cultivo de pepino, el sitio web de la base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT), publicó que en año 2020 se batió el récord histórico en la producción mundial de pepino, con un total de 91258,27 millones de kg, en una superficie de 2.261.318 has, con un rendimiento medio por metro cuadrado de 4,04 kg de pepino. España, supera la media con un rendimiento de 10,28 Kg/m<sup>2</sup>, pero aun así, Holanda

destaca como el país con el mejor rendimiento en el mundo en la producción de pepino, ya que obtiene 70,52 kg/m<sup>2</sup>, un 585,99% más que España. Este proyecto podría contribuir a aumentar estos números en España y tener un gran impacto a nivel nacional y mundial.

Por otro lado, el cambio climático y sus consecuencias, es un tema que equipara la atención mundial, y cada vez más entidades trabajan en este tema y en sus posibles consecuencias, por lo que el interés de las revistas de publicar este tipo de trabajos es cada vez mayor, ya que pueden ser útiles para afrontar el futuro. Por lo tanto, el impacto científico-técnico esperado de los resultados de este proyecto, puede ser muy importante.

## **7.2. Plan de divulgación**

### *7.2.1. Plan de divulgación para grupos más relevantes*

Para que los resultados del proyecto lleguen a entidades y personas que les pueda interesar se realizará un plan de divulgación a través de las oficina de prensa de la Universidad de Jaén y utilizando las redes sociales para poner al día a la población en los perfiles de la Universidad.

Asistencia a Congresos y Simposios, tanto nacionales como internacionales. Esto nos ayudará a poner los resultados a servicio de la comunidad científica interesada en este tema.

Realizaremos 3 publicaciones en revistas científicas relacionadas y especializadas en el tema SCI.

También habrá oportunidades para difundir los resultados a través de conferencias técnicas y exposiciones en ferias agropecuarias y tecnológicas.

### *7.2.2. Plan de divulgación para la población en general*

Uno de los principales objetivos que se pretende abordar con la difusión de este proyecto, es animar a la gente a que se interese por el cultivo sin suelo y animar a la población a que cree sus propios cultivos caseros.

Realizaremos talleres informativos, tanto para la comunidad Universitaria como para los colegios de la zona. Dichos talleres se realizarán en el invernadero con la intención de que la gente conozca mejor en qué consiste el cultivo sin suelo.

Tendremos presencia en "la semana de la ciencia" dónde explicaremos todo el proyecto de una forma muy gráfica y visual para que pueda ser comprendido por todos los públicos; haremos una pequeña demostración con un ejemplo de cultivo sin suelo sencillo para que los asistentes lo puedan realizar fácilmente (Figura 7.1).



**Figura 7.1.** Ejemplo de Cultivo hidropónico casero con materiales reciclados.[www.lavanguardia.com](http://www.lavanguardia.com).

Realizaremos poster con las gráficas de los resultados tanto en formato digital para publicarlo en páginas y foros dedicados a la agronomía, como en papel para ponerlo en los laboratorios de la Universidad de Jaén.

## **8. IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO**

### **8.1. Descripción del impacto y beneficios que pueden derivarse de los resultados**

Un suelo con altas concentraciones de sal sufre una gran variedad de alteraciones llegando incluso a interrumpirse los procesos biológicos, bioquímicos, hidrológicos y erosivos naturales. Como consecuencia, la salinización de los suelos, puede tener un gran impacto negativo en la producción agrícola, pérdida de los recursos y bienes que el suelo ofrece o incluso de salud ambiental. Dichos problemas pueden desembocar en problemas para el ser humano y para el bienestar social.

El proceso que más problemas está creando, y que se prevé que creará en el futuro en los suelos de la zona Mediterránea, es la salinización. Esto se debe a las altas tasas de evapotranspiración, las escasas precipitaciones y la limitación en cuanto a la lixiviación de sales que presenta dicha zona. Además, con el calentamiento global, cada vez más agricultores se ven obligados a regar sus cultivos situados en zonas áridas o semiáridas con aguas de mala calidad, haciendo que se acumulen sales en la zona de las raíces de las plantas. Esto perjudica en gran medida a las plantas que no toleran la salinidad derivando en grandes pérdidas de producción.

Por otro lado, el cultivo de pepino, ha aumentado notablemente en los últimos años alcanzando cifras record en el año 2020, siendo España el segundo país con mayor rendimiento en dicho cultivo. Este proyecto podría servir para mejorar la producción y la economía española y mundial, ayudando a países que tienen problemas de salinización como Israel, Turquía, China, India, Pakistán, Sudán, Argentina y Estados Unidos, dando opciones para el aprovechamiento de terrenos en mal estado a causa de la salinidad o mediante la adaptación de variedades que puedan tener un mayor rendimiento en zonas afectadas por la salinidad, todo esto de una forma viable y respetuosa con el medio ambiente.

Este proyecto, aportará resultados con gran impacto en el presente pero también de cara a un futuro en el que el calentamiento global no pasará

desapercibido. La información que aportaremos, nos permitirá seleccionar la variedad que mejor se adapta a la contaminación salina ofreciendo mejores rendimientos y calidad del producto y de esta forma potencial el bienestar social y desarrollo económico.

## **9. RESULTADOS ESPERADOS**

Lo primero que se espera tras la finalización del proyecto, es tener una infraestructura perfectamente adecuada para realizar estudios con plantas, mediante el cultivo sin suelo, lo que nos permitirá realizar posteriores investigaciones relacionadas tanto con la salinidad como con otros tipos de estrés (por ejemplo deficiencias hídricas o nutricionales jugando con las concentraciones de la solución nutritiva de riego).

Una vez finalizado el proyecto esperamos tener los suficientes datos e información para poder justificar cuál de las 5 variedades elegidas presenta mejores cualidades para enfrentarse al estrés salino y poder ofrecerle esta información a los agricultores con la intención de que adapten sus cultivos al tipo de suelo del que disponen.

También se espera poder ofrecer una mejora a la tolerancia frente el estrés salino con el pretratamiento con reguladores del crecimiento que se le ha realizado para poder mejorar el rendimiento de los cultivos establecidos en suelos con altas concentraciones de salinidad.

Finalmente se espera que mediante la divulgación, la población se conciencie del problema que supone hoy en día la salinización de los suelos y el cambio climático.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, S.G., Dobrenz, A.K. y Barriles, P.G. (1986): Respuesta fisiológica de la alfalfa tolerante y no tolerante a la salinidad durante la germinación. *Ciencia de cultivos*. 26(5), pp. 1004-1008.
- Ashraf, M. (1994): Mejoramiento para tolerancia a la salinidad en plantas. *Revista Crítica de Ciencias de las Plantas*. 13, pp. 17.
- Aparicio, C. (2016): EL OLIVO (*Olea europaea* L.) Y EL ESTRÉS SALINO. IMPORTANCIA DE LOS REGULADORES DEL CRECIMIENTO. Tesis doctoral Universidad de Jaén.
- Bai, T., Li, C., Ma, F., Feng, F. y Shu, H. (2010): Respuestas del crecimiento y del sistema antioxidante al estrés por hipoxia en la zona radicular en dos especies de *Malus*. *Suelo Vegetal*. 327, pp. 95-105.
- Baixauli, C. y Aguilar, J.M. (2002): Cultivo sin suelo de hortalizas, Generalitat Valenciana.
- Bargmann, B., Laxalt, A.M., Riet, B., Schooten, B., Merquiol, E. Testerink, C., Haring, M.A., Bartels, D. y Munnik, T. (2009): Se requieren múltiples PLD para alta salinidad y tolerancia al déficit hídrico en plantas. *Fisiología de células vegetales*. 50(1), pp. 78-89.
- Bartels, D. y Sunkar, R. (2005): Tolerancia a la sequía y la sal en las plantas. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 24, pp. 23-58.
- Beltrano, J. y Gimenez, D. O. (2015): CULTIVO EN HIDROPONÍA. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. *Editorial de la Universidad de La Plata*. 47, pp. 380.
- Bosello, F., Nicholls, R.J., Richards, J., Roson, R. y Tol, R.S. (2012): Impactos económicos del cambio climático en Europa: aumento del nivel del mar. *Cambio climático*. 112, pp. 63–81.
- Boyer, J.S. (1982): Productividad vegetal y medio ambiente. *Ciencia*. 218, pp. 443-448.

- Bueno, M. y Cordovilla, M.P. (2021): Los pretratamientos con espermidina mitigan los efectos del estrés salino al mejorar el crecimiento y la excreción salina en *Frankenia pulverulenta*. *Agronomía*. 11, pp. 1515.
- Bueno, M., Lendínez, M.L., Aparicio, C. y Cordovilla, M.P. (2015): Efecto de la salinidad sobre poliaminas y etileno en *Atriplex prostrata* y *Plantago coronopus*. *Biologia plantarum*. 59 (3), pp. 596-600.
- Carbonell, F. B., Sánchez, F. M., y Ballesteros, F. R. (2000): Poliaminas: Biosíntesis, metabolismo y su papel en la maduración y manipulación post-recolección de frutos. *Food Science and Technology International*. 6(2), pp. 85-95.
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D. y Chaves, B. (2009): Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*. 27(1), pp. 41-48.
- Chacón-Padilla, K. y Monge-Pérez, J. (2020): Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero: comparación entre tipos de pepino. *Tecnología en Marcha*. 33-1, pp. 17-35.
- Chávez, L. y González, L.M. (2009): Mecanismos moleculares involucrados en la tolerancia de las plantas a la salinidad. *ITEA*. 105 (4), pp. 231-256.
- Colla, G., Rouphael, Y., Jawad, R., Kumar, P., Rea, E. y Cardarelli, M. (2013): La efectividad del injerto para mejorar la tolerancia a NaCl y CaCl<sub>2</sub> en pepino. *Scientia Horticulturae*. 164, pp. 380–391.
- Daliakópoulos, E., Tsanis, I.K., Koutroulis, A. Kourgialas, N.N., Varouchakis, A.E. y Karanizas, G.P. (2016): La amenaza de la salinidad del suelo: una revisión a escala europea. *Ciencia total del medio ambiente*. 573, pp. 729-739.
- Daskalaki, P. y Voudouris, K. (2008): Calidad del agua subterránea de acuíferos porosos en Grecia: una revisión sinóptica. *Entorno Geológico*. 54, pp. 505-513.
- Díaz, N.G. (2016): El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L), y su reacción a la aplicación de dosis de humus líquido vía foliar como complemento a la fertilización, en la zona de Vines. Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

- Duan, D., Li, J., Guo, S. y Kang, Y. (2008): La espermidina exógena afecta el metabolismo de las poliaminas en las raíces de *Cucumis sativus* estresadas por la salinidad y mejora la tolerancia a la salinidad a corto plazo. 165(15), pp. 1620-1635.
- EEA. (1999): Calidad y cantidad de aguas subterráneas en Europa. Informe de Evaluación Ambiental .*Agencia de Medio Ambiente Europeo*. Copenhague.
- Fahad, S., Hussain, S., Bano, A., Saud, S. y Hassan, S. (2014): Papel potencial de las fitohormonas y las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas en el estrés abiótico: consecuencias para el medio ambiente cambiante. *Ambiente. Ciencia. Contaminación*. 22, pp. 4907-4921.
- FAO (2008) Red mundial sobre gestión integrada de suelos para el uso sostenible de suelos afectados por sal, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.
- Fischer, G., Natchtergaele, F., Prieler, S., Van Velthuisen, H., Verelst, L. y Wiberg, D. (2008): Evaluación Global de Zonas Agroecológicas para la Agricultura. HASA, Luxemburgo, Australia FAO, Roma, Italia.
- García, C.U., Jurado, J.E. y Vásquez, C.M. (2017): Evaluación comparativa del rendimiento de dos variedades híbridas de pepino (*Cucumis Sativus L.*); Tropicuke II y Poinsett 76, bajo dos sistemas de cultivo: Hidropónico en Casa Malla vs Tradicional. Bachelor thesis, Universidad de El Salvador.
- Gorai, M. y Neffati, M. (2007): Respuestas de germinación de *Reaumuria vermiculata* a la salinidad y la temperatura. *Anales de Biología Aplicada*. 151, pp. 53-59.
- Grimaldo, O., Suárez, A.M., Vargas, E. A., Carrasco, L. D. y Morales, L.A. (2020): Concentración de nutrientes en hoja y calidad de pepino en plantas injertadas bajo condiciones salinas. *Idesia (Arica)*. 38(2), pp. 41-48.
- Gupta, B. y Huang, B. (2014): Mecanismo de tolerancia a la salinidad en plantas: Caracterización fisiológica, bioquímica y molecular. *Revista Internacional de Genómica*. 2014, pp. 18.

- Helaly, M.N., Nabil, E.S., Hazem M. y Zabochnicka, M. (2018): Efecto de las aguas residuales y el ácido salicílico sobre el crecimiento, la malformación, el rendimiento y los cambios bioquímicos del mango. *Ciencia horticultura*. 233, pp. 159-177.
- Iglesias, N. (2006): Producción de hortalizas bajo cubierta: estructuras y manejo de cultivo para la Patagonia Norte. Instituto *Nacional de tecnología agropecuaria*. 59, pp. 74-77.
- INTAGRI (2021): Aspectos a Considerar en la Orientación de los Invernaderos. *Serie Horticultura Protegida*. Artículos Técnicos de INTAGRI, México.42, pp. 3.
- Kochba J., Lavee S. y Spiegel-Roy P. (1977): Diferencias en actividad peroxidasa e isoenzimas en embriogénicos y no Líneas embriogénicas de callos ovulares anaranjados 'Shamouti'. *Plant Cell Physiology*. 18, pp. 463–7.
- Krasilnikoff, G., Gahoonia, T. y Nielsen, N.E. (2003): Variación en la eficiencia de absorción de fósforo por genotipos de caupí (*Vigna unguiculata*) debido a diferencias en la longitud de la raíz y del pelo de la raíz y procesos de rizosfera inducidos. *Planta y Suelo*. 251, pp. 83–91.
- Larqué, A. y Martín, R. (2007): Efectos de ácido salicílico sobre la bioproductividad de las plantas. *Ácido salicílico, una hormona vegetal*. pp. 15-23.
- Li, S., Jin, H. y Zhang, Q. (2016): El efecto de la concentración de espermidina exógena sobre el metabolismo de las poliaminas y la tolerancia a la sal en la hierba Zoysia (*Zoysia japonica Steud*) sometida a estrés por salinidad a corto plazo. *Fronteras en plantas Science*. 7, pp. 1221.
- Magaña, D.M. (2021): Aplicación exógena de poliaminas en la mejora de cultivos agrícolas frente al estrés, Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Jaén.
- Marschner, H. (1995): Nutrición mineral de plantas superiores, 2ª ed. Londres: *Prensa académica*.
- Montanarella, L., (2007.): Tendencias en la degradación de la tierra en Europa. *Clima y Tierra*, pp. 83–104.

- Morales, D., Rodríguez, P., Dell'Amico, J.M., Sánchez, M.J. y Torrecillas, A. (2003): Efecto de la salinidad en la conductividad hidráulica de las raíces y las relaciones hídricas en hojas de dos especies de tomate (*L. esculentum* y *L. chessmanii*). *Cultivos Tropicales*. 24, (1), pp. 41-45.
- Moreno, L.P. (2009): Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. *Agronomía Colombiana*. 27(2), pp.179-191.
- Moreno, E.C., Sanchez, F., Blancas C., Vazquez, S.A.,Gonzalez, L. y Montalvo, D. (2014): Huerto comercial hidropónico: una alternativa de producción de hortalizas en invernadero. *AGROProductividad*. 7(1), pp. 21.
- Mukhopadhyay, R., Sarkar,B., Sahay, H. y Chander, P. (2021): Salinidad del suelo bajo el cambio climático: Desafíos para la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria. *Journal of Environmental Management*. 280, pp. 2-3.
- Munns, R. (2002): Fisiología comparativa del estrés iónico y salino. *Plantas, células y medio ambiente*. 25(2), pp. 239-250.
- Munns, R. (2005): Genes y tolerancia a la sal: Reunidos. *New Phytologist*. 67, pp. 645-663.
- Munns, R. y Tester, M. (2008): Mecanismos de tolerancia a la salinidad. *Plant Biology*. 59, pp. 651–681.
- Parida, A.K. y Das A.B. (2005): Tolerancia a la sal y efectos de la salinidad en las plantas: una revisión. *Ecotoxicol. Reinar. La seguridad*. 60, pp. 324-349.
- Parvaiz, A. y Satyawati, S. (2008): Estrés salino y respuestas fitobioquímicas de plantas. Una revisión. *Plant Soil Environ*, 54, pp. 89–99.
- Pitman, M.G. y Lauchli, A. (2002): Impacto global de la salinidad y los ecosistemas agrícolas. *Moléculas de plantas ambientales*, pp. 3-20.

- Ramírez, C. (2019): Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de Pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico. *Tecnología en Marcha*. 32(1), pp. 107-117.
- Rengasamy, P. (2006): Salinización mundial con énfasis en Australia. *Revista de botánica experimental*. 57, pp. 1017–1023.
- Roy, S.T., Negrão, S.y Tester, M. (2014): Plantas de cultivo resistentes a la sal. *Opinión actual en biotecnología*. 26, pp. 115-124.
- Rojas, O., Vaca, J.Z. y Vaca, Y.A. (2017): Diseño e implementación de un sistema automatizado para invernadero hidropónico, Tesis de grado universidad nacional abierta y a distancia, Colombia.
- Sánchez, F., González, L., Moreno, E., Pineda, J., y Reyes, C.E. (2014): Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(3), pp. 261-269.
- Sandí, C. G. (2016): Crecimiento, producción y absorción nutricional del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) con dos soluciones nutritivas en ambiente protegido en la zona de San Carlos, Costa Rica, Trabajo Final de Grado presentado a la Escuela de Agronomía.
- Shan, D.P., Huang, J., Yang, Y., Guo, Y., Gao, Z. y Chao, C. (2007): El Algodón, GhDREB1 aumenta la tolerancia de las plantas a las bajas temperaturas y está regulado negativamente por el ácido giberélico. *Nueva Fitología*.176, pp. 70–81.
- Sirault, X.R.R., James, R.A. y Furbank, R.T. (2009): Un nuevo método de detección para el componente osmótico de la tolerancia a la salinidad en cereales utilizando termografía infrarroja. *Función Biológica*. 36, pp. 970–977.
- Stępień, P. y Kłbus, G. (2006): Relaciones del agua y fotosíntesis en *Hojas de Cucumis sativus* L. bajo estrés salino. *Plants Biology*. 50, pp. 610.
- Tamargo, M.D. (2019): Estrategias de mejora de la tolerancia a la salinidad, Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Jaén.

- Tanji, K.K. (1990): Evaluación y gestión de la salinidad agrícola de la sociedad Americana. Ingeniería Civil. *Manual ASCE e Informes de Prácticas de Ingeniería* N°. 71. Nueva York.
- Tuteja, N. (2007): Mecanismos de alta tolerancia a la salinidad en las plantas. *Métodos Enzimol.* 428, pp. 419–438.
- Vinocur, B. y Altman, A. (2005): Avances recientes en la ingeniería de la tolerancia de las plantas al estrés abiótico: logros y limitaciones. *Opinión Biotechnology.*, 16, pp. 123–132.
- Watson, E.B. y Byrne, R. (2009): Abundancia y diversidad de plantas de pantanos de marea a lo largo del gradiente de salinidad del estuario de San Francisco: implicaciones para la ecología del cambio global. *Ecología vegetal.* 205, pp. 113.
- Wicke B., Smeets E., Dornburg V., Vashev B., Gaiser T., Turkenburg W. y Faaij A. (2011): El potencial técnico y económico global de la bioenergía de suelos afectados por sal. *Energía medioambiente. Ciencia.* 4, pp. 2669-2681.
- Xu, P.L., Guo, Y.K., Bai, JG; Shang, L. y Wang, X.J. (2008): Efectos del enfriamiento a largo plazo sobre la ultra estructura y la actividad antioxidante en hojas de dos cultivares de pepino bajo poca luz. *Physiologia Plantarum.*132, pp. 467–478.
- Zhou, M.X., Chen Z, Newman, I.A., Mendham, N.J., Zhang, G.P.y Shabala, S. (2007): Relaciones de potasio y sodio en tejidos de cebada salinizada como base de la tolerancia diferencial a la sal. *Biología Vegetal Funcional.* 34, pp. 150-62.
- Zhu, J., Bie, Z., y Li, Y. (2008): Respuestas fisiológicas y de crecimiento de dos cultivos de pepino diferente sensibles al estrés salino NaCl. *Ciencia del suelo y nutrición vegetal.* 54, pp. 400–407.
- Zhu, J.K. (2016): Señalización y respuestas al estrés abiótico en las plantas. *Célula.*167, pp. 313–324.