

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Producción de Forraje Verde Hidropónico Utilizando Bioestimulación  
Pregerminativa (Seed Priming) para la Obtención de Extractos Botánicos

Por:

**JHOVANA ORDUÑA ORDUÑA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México  
Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Producción de Forraje Verde Hidropónico Utilizando Bioestimulación  
Pregerminativa (Seed Priming) para la Obtención de Extractos Botánicos

Por:

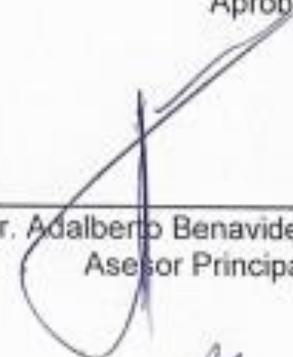
**JHOVANA ORDUÑA ORDUÑA**

TESIS

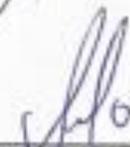
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

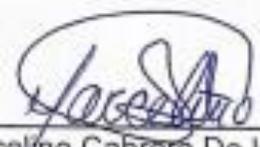
**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Asesor Principal

  
MC. Lucia Marcial Salvador  
Asesora Principal Externa

  
Dra. Susana González Morales  
Coasesora

  
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente  
Asesor

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México  
Junio 2024

## Declaración de no plagio

El autor principal quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

**Autor principal**

Jhovana Orduña  
Jhovana Orduña Orduña

**Firma y Nombre**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por esta vida y por permitirme cumplir este sueño que al inicio parecía inalcanzable. Por sostenerme cuando más lo necesité, por llenarme de aprendizajes y experiencias que han moldeado mi ser, por ser una guía constante en mí. Gracias mi Dios por brindarme sabiduría, esperanza y la fuerza para cumplir este objetivo de vida.

A mi ALMA TERRA MATER Por haberme dado la oportunidad de ser parte de esta institución que ha sido más que un lugar de estudio: mi segunda casa, mi fuente de conocimiento y mi plataforma de crecimiento, gracias Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser el escenario donde mis sueños se encuentran con la realidad, donde cada profesor es un faro de inspiración, por brindarme todas y cada una de las herramientas necesarias para mi formación profesional, llevare con orgullo en mi alma y corazón el privilegio de ser un Buitre por siempre.

Al Departamento de Horticultura por facilitarme los elementos imprescindibles en todo momento de mi preparación y a los profesores que me brindaron parte de su tiempo, amistad y conocimiento.

A todos los maestros que he tenido a lo largo de mi estancia universitaria, en especial al Dr. Alberto Sandoval Rangel y al Dr. Víctor Manuel Reyes Salas por todos sus consejos, amistad, y tiempos de aprendizaje siempre guiándome con pasión y compromiso.

A mis asesores la MC. Lucia Marcial Salvador por su tiempo y gran apoyo en la realización de esta investigación, por brindarme muchos de sus conocimientos y por ser una excelente persona conmigo y al Dr. Adalberto Benavides Mendoza por su experiencia y tiempo dedicado a este proyecto. De igual manera a la Dra. Susana Gonzáles Morales y al Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente por ser parte de mi comité de asesoría.

A mis Amigos y compañeros Natalia Mendieta Dorado y C. Berenice Martínez Torres por el amor y apoyo brindado, por compartir risas en los momentos alegres y ofrecer consuelo en los tiempos difíciles, a ustedes Carlos Daniel Ramírez, Yuleidy Martínez, Yoselin Rojas, Rodrigo López, José Armando Pelagio, Bernardo Ramos, por cada lección aprendida y cada desafío superado juntos, a cada uno de mis amigos de la generación CXXXVIII infinitas gracias por cada momento compartido durante la carrera

## DEDICATORIAS

A Dios, porque es el motor que hace funcionar mi vida, desde siempre me ha mostrado que tiene un plan para mí, al colocarme en el momento y lugar preciso.

Para mi Familia padres y hermanas, con mucho amor y cariño, por acompañarme a cumplir una nueva meta, también por sus oraciones. Este logro es de ustedes papás, hermanas y mío, como resultado de lo mucho que me han enseñado. LOS AMO.

A mí querida madre Catalina y a mí querido padre José Tomas, por darme su amor incondicional, su apoyo moral, su tiempo al escuchar mis pesares y sobre todo por incentivar me a que alcance todas las metas que me he propuesto. Gracias por los grandes consejos, comprensión, por todo el apoyo y sacrificio.

A mis lindas hermanas Estefania, Vanely y Meritxell, por su gran apoyo y afecto, gracias por siempre estar para mí, por recibirme en casa con alegría.

A mis abuelitos bellos Francisca y Arnulfo, Gracias por esos abrazos llenos de sentimientos al encontrarnos y al despedirnos, gracias por todo el apoyo y amor incondicional. LOS AMO.

A mi novio Joel, por todo su amor y comprensión, por estar siempre al tanto de mí, por cuidarme y amarme, gracias por todo el apoyo incondicional, te quiero.

A mis tías queridas Tere, y Susana, por siempre mostrar ese afecto y amor hacia mí, por sus buenos consejos.

A mi Madrina Laura que extraño mucho, gracias por siempre estar pendiente de mí, por sus buenos consejos en esta etapa de formación académica, por brindarme esa motivación para seguir adelante la quiero mucho.

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIAS.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>X</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Producción del forraje verde hidropónico.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Maíz.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Densidad de siembra.....</b>	<b>6</b>
<b>2.4 Germinación de las semillas.....</b>	<b>6</b>
2.4.1 Fases de la germinación.....	7
<b>2.5 Seed priming.....</b>	<b>8</b>
<b>2.6 Uso del yodo como nutriente benéfico.....</b>	<b>9</b>
<b>2.7 Bioestimulantes.....</b>	<b>10</b>
<b>2.8 Extractos botánicos.....</b>	<b>11</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Ubicación de la zona de estudio.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Material biológico.....</b>	<b>13</b>
13	
<b>3.3 Obtención del forraje verde.....</b>	<b>14</b>
3.3.1 Selección de las semillas.....	14
3.3.2 Lavado y desinfección de las semillas.....	14

.....	15
.....	15
.....	15
.....	15
3.3.3 Colocación de las semillas en charolas hidropónicas.....	16
<b>3.4 Colecta y caracterización del forraje verde hidropónico.....</b>	<b>17</b>
3.4.1 Peso fresco y peso seco .....	17
3.4.2 Contenido de minerales en la biomasa del FVH.....	19
<b>3.5 Utilización de la biomasa de los tapetes de forraje para fabricar extracto botánico .....</b>	<b>21</b>
<b>3.6 Caracterización de los 5 extractos botánicos concentrados en el Laboratorio de Fisiología .....</b>	<b>22</b>
<b>3.7 Análisis estadístico.....</b>	<b>22</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Obtención del forraje verde hidropónico.....</b>	<b>23</b>
4.1.2 Peso fresco y peso seco .....	23
<b>4.3 Caracterización de los extractos botánicos .....</b>	<b>26</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>28</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>29</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas de maíz para la producción de Forraje Verde Hidropónico</i>	15
<i>Cuadro 2. Contenido de Macronutrientes</i>	24
<i>Cuadro 3. Contenido de minerales Micronutrientes</i>	25
<i>Cuadro 4. Parámetros físicos</i>	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Semillas de maíz</i>	13
<i>Figura 2. Selección de las semillas</i>	14
<i>Figura 3. Lavado y desinfección de las semillas</i>	15
<i>Figura 4. Establecimiento del cultivo</i>	16
<i>Figura 5. Día 3 y 5 después de establecer el cultivo</i>	17
<i>Figura 6. Cosecha de los tapetes de Forraje Verde Hidropónico</i>	18
<i>Figura 7. Se guardaron las muestras en bolsas previamente etiquetadas</i>	19
<i>Figura 8. Digestión de muestras para determinar el contenido de minerales</i>	20
<i>Figura 9. Preparación de los extractos botánicos</i>	21
<i>Figura 10. Peso fresco y peso seco del Forraje Verde Hidropónico (FVH).</i>	23
<i>Figura 11. Contenido de fenoles totales en los extractos botánicos concentrados del Forraje Verde hidropónico (EFVH).</i>	27

## RESUMEN

Para mantener el rendimiento de los cultivos mientras se logra la transición a prácticas de cultivo más sostenibles, la aplicación de bioestimulantes vegetales es una de las alternativas rápidas, rentables y seguras para el medio ambiente. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue investigar el impacto que tiene el yodo al aplicarlo como priming de semillas de maíz en la calidad nutricional de la biomasa del forraje verde hidropónico obtenido (FVH). El experimento se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. Para la producción de FVH se utilizaron semillas de maíz híbrido variedad Cuauhtémoc. El experimento se realizó con diferentes concentraciones de yoduro y yodato de potasio, se estableció bajo un diseño completamente al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones, después de 14 días se hizo la colecta del FVH para determinar el rendimiento de biomasa fresca y seca, además de minerales. Posteriormente se fabricaron 5 extractos botánicos concentrados determinando algunos parámetros físicos y bioquímicos. La aplicación de yodato de potasio (T3) presentó un efecto significativo sobre la producción de peso fresco con valores de producción de 19.4 kg· m<sup>2</sup>, y de materia seca de 2.86 kg· m<sup>2</sup>, y en cuanto al contenido mineral del FVH, se presentaron valores óptimos respecto a lo reportado por otros autores.

**Palabras claves:** Bioestimulación, extractos botánicos, elementos benéficos, bioestimulantes.

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura actual se enfrenta a retos originados por el cambio climático y para mitigar estos efectos adversos se ha recomendado el uso de bioestimulantes (Benavides-Mendoza, 2021) como los extractos botánicos (du Jardin, 2015). Entre sus formas de empleo se encuentra la aplicación pregerminativa o seed priming, que permite la modificación de los programas de desarrollo del embrión. De hecho, se ha demostrado en diferentes especies vegetales que la bioestimulación pregerminativa modifica la expresión génica del embrión, de las plántulas y de las plantas subsecuentes (De la Fuente et al., 2018).

Los bioestimulantes vegetales se han utilizado para reducir el daño causado por diferentes tipos de estrés biótico y abiótico. Dentro de los elementos que se han usado como bioestimulantes está el yodo (I) que es un elemento no esencial en las plantas, pero, aun así, se considera beneficioso y bioestimulante, ya que su aplicación exógena puede potenciar el metabolismo redox, lo que mejora los antioxidantes, las sinergias con minerales esenciales y aumenta la tolerancia a factores adversos, sin embargo, se sabe poco sobre el mecanismo de acción del yodo (Fuentes et al., 2022).

El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales, es el único cereal que puede ser usado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta, por ejemplo, cuando se cosecha aun estando verde proporciona un buen forraje, este aspecto es importante ya que con la presión de la limitación de las tierras, son necesarios modelos de producción que den origen a más alimentos para una población que crece continuamente (FAO, 2024).

El seed priming ó pretratamiento de semillas es una necesidad primordial en la agricultura, ya que no sólo ayuda a influir en la germinación, sino que también tiene múltiples beneficios como facilitar el crecimiento de las plantas e influir en el

rendimiento, en la absorción de nutrientes, mantener el vigor del crecimiento de la planta y la tolerancia a diferentes tipos de estrés tanto bióticos como abióticos (Poddar et al., 2021).

## **Objetivo general**

Investigar el impacto del pretratamiento de semillas de maíz con diferentes concentraciones de yoduro y yodato de potasio aplicados como bioestimulantes pregerminativos sobre la calidad nutricional de la biomasa del forraje verde hidropónico (FVH) para obtener extractos botánicos.

## **Objetivos específicos**

- Determinar el efecto del yoduro y yodato de potasio aplicados como priming de semillas sobre el rendimiento de biomasa fresca y seca del FVH.
- Determinar el efecto del yoduro y yodato de potasio aplicados como priming de semillas sobre la calidad nutricional del FVH, determinada con la composición mineral.
- Obtención de extractos botánicos con potencial bioestimulante a partir de la biomasa del FVH.

## **Hipótesis**

La bioestimulación pregerminativa de las semillas de maíz con yodo producirá mayor biomasa y contenido mineral en el FVH cuyo extracto botánico será superior en contenido de compuestos activos como contenido de fenoles totales y poder bioestimulante en comparación con el obtenido de semillas pretratadas con agua destilada.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Producción del forraje verde hidropónico

El forraje verde hidropónico consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo, esto permite de alguna manera la producción bajo condiciones climáticas adversas (Flores Gutiérrez & Chilon Camacho, 2019). Generalmente para la producción de forraje se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo debido a su calidad nutricional y altos rendimientos (Juárez-López et al., 2013).

La producción de forraje verde hidropónico tiene un ciclo de 10 a 14 días, tiempo en el cual puede alcanzar de 20 a 25 cm, no se utiliza ningún sustrato, solamente semilla forrajera, charola forrajera, una solución nutritiva adecuada para la producción del forraje y agua. En algunos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza después de los 14 días, a pesar de que el óptimo definido por varios estudios ha mostrado que la cosecha no debería extenderse más allá del día 12, debido a que a partir de ese día el valor nutricional del FVH disminuye (FAO, 2001).

Una de las ventajas del forraje verde hidropónico es que constituye una fuente de carbohidratos, azúcares, proteínas, minerales y vitaminas, convirtiéndose en un forraje de alta calidad (Juárez-López et al., 2013). Además del ahorro de agua, hay menores costos de producción, uso eficiente del espacio, tiempo de producción y calidad (Suazo & Zelaya, 2020).

El éxito del FVH comienza con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Si bien, todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos. La semilla debe estar lo más limpia posible y no contener semillas partidas ni de otros cultivares (Ramírez et al., 2021), libres de impurezas evitando

semillas tratadas con agroquímicos, las semillas deben pasar por un lavado y desinfectado (Juárez-López et al., 2013).

## **2.2 Maíz**

Como bien se ha mencionado una de las plantas más utilizadas con fines forrajeros ha sido el maíz (*Zea mays* L.), por su elevado valor nutritivo y altos rendimientos (Rica Amador & Lorena, 2000), lo cual permite que en diversos medios de producción hidropónicos, se generen elevados y constantes volúmenes de FVH de maíz, produciendo alimento a la mitad del costo convencional de forrajes cultivados a campo abierto (Zagal et al., 2016).

El maíz es una planta originaria de Mesoamérica, perteneciente a la familia de las poaceae (Gutiérrez Peralta & Castañeda Sifuentes, 2017). Actualmente en México, se han descrito 59 razas nativas, además, su grano sigue siendo el cereal básico más importante en la alimentación de la población mexicana (Rodríguez et al., 2018).

El maíz posee el grano de mayor tamaño en relación al resto de los cereales, cuyo peso de cien semillas rondan en promedio los 30 gramos. Debido a la gran diversidad genética de esta especie, existe una amplia gama de fenotipos de distintos colores, formas y tamaños, las diferencias en la forma y el tamaño se deben en gran medida a la posición en la mazorca. Aquellos que se ubican en los extremos de la espiga son más redondeados, mientras que los ubicados en la parte central, presentan los laterales más achatados debido a la presión ejercida por el empaquetamiento de los granos en la hilera (Arendt & Zannini, 2013).

Es una planta de porte robusto y de hábito anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud alcanzando alturas de uno a cinco m, con pocos macollos o ramificaciones, su aspecto recuerda al de una caña de azúcar por la presencia de nudos y entrenudos y su médula esponjosa. Las hojas nacen en los nudos de

manera alterna a lo largo del tallo; se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral, de tamaño y ancho variable. Las raíces primarias son fibrosas presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta (Kato et al., 2009).

El sistema radicular presenta una parte de raíces adventicias seminales que constituye cerca del 52 % de la planta además de ser el principal sistema de fijación y absorción de la planta, mientras que el sistema nodular es el 48% de la masa total de raíces de la planta (FAO, 1993).

### **2.3 Densidad de siembra**

La densidad de semilla es un factor relevante en la producción de biomasa de forraje verde hidropónico y varía según el tipo de semilla. Las densidades óptimas por metro cuadrado oscilan entre 2.2 a 3.4 kg de semilla, considerando que la disposición de las semillas no debe superar los 1.5 cm de altura en la bandeja (Soto et al., 2012).

### **2.4 Germinación de las semillas**

En el proceso de germinación de una semilla se producen una serie de transformaciones cualitativas y cuantitativas muy importantes, el germen, embrión de la futura planta, a partir de un almacén de energía en forma de hidratos de carbono o lípidos, es capaz de transformarse en pocos días en una plántula con capacidad para captar energía lumínica (fotosíntesis) y absorber elementos minerales de la solución nutritiva. En este estado, la planta, tanto en su parte aérea como en la zona radicular, se encuentra en un crecimiento acelerado, con muy poca fibra y alto contenido de proteína en su composición, ésta última, se encuentra en estado de formación, por lo que gran parte de los aminoácidos están en forma libre y son más fácilmente aprovechables por los animales que la consumen, el forraje

verde hidropónico es por tanto, un producto de especiales características alimenticias (Abarca et al., 2016).

La calidad fisiológica de las semillas, por lo general, es definida según su capacidad de germinación, vigor, viabilidad y longevidad, parámetros que influyen en el desempeño de la semilla en condiciones de campo y almacenamiento (Costa et al., 2021).

Las semillas necesitan de ciertos factores externos para poder desarrollar su proceso de germinación. Entre los más importantes se mencionan temperatura, humedad, oxígeno y oscuridad. Cuando uno o más factores son deficientes, existe la probabilidad de que la germinación y la formación de las plantas, no llegue a buen término (Qaderi, 2023).

#### **2.4.1 Fases de la germinación**

La germinación se inicia con la entrada de agua en la semilla (imbibición) y finaliza con el comienzo de la elongación de la radícula. La Fase I, comienza con la hidratación de los tejidos de la semilla, una vez que la semilla se ha hidratado, comienzan a activarse toda una serie de procesos metabólicos que son esenciales para que tengan lugar las siguientes etapas de la germinación (Pita & Perez, 2008). Fase II, la germinación, representa el verdadero proceso en el que se producen las transformaciones metabólicas necesarias para el completo desarrollo de la plántula, en esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse, constituye un período de metabolismo activo previo a la germinación en las semillas viables o de inicio en las semillas muertas (Doria, 2010).

En el transcurso de la fase o etapa III, hay un resurgimiento en la absorción de agua por parte de la semilla, y la aparición de la radícula significa el ingreso del proceso de germinación a la fase de elongación y crecimiento celular (Amir et al., 2024). La entrada de agua en el interior de la semilla se debe exclusivamente a una diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el medio que le rodea, en condiciones

normales, este potencial hídrico es menor en las semillas secas que en el medio exterior, por ello, hasta que emerge la radícula, el agua llega al embrión a través de las paredes celulares de la cubierta seminal, siempre a favor de un gradiente de potencial hídrico, un exceso de agua actuaría desfavorablemente para la germinación, pues dificultaría la llegada de oxígeno al embrión, la temperatura, influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación, la actividad de cada enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio que puede definirse como la más adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible (Doria, 2010).

## **2.5 Seed priming**

La mayoría de las actividades agrícolas se llevan a cabo en tierras frágiles o en zonas de cultivo, el crecimiento y desarrollo de los cultivos se ven afectados negativamente debido a varios estreses bióticos y abióticos, en la situación actual, los esfuerzos de investigación se han desviado hacia los enfoques a corto plazo que pueden mejorar el rendimiento de los cultivos en entornos cambiantes, la tecnología de seed priming o pretratamiento de semillas se encuentra en una fase de transición de su popularidad entre los agricultores de escasos recursos (Devika et al., 2021).

Puede tener diferentes efectos de acuerdo a la especie o cultivo en el que se esté probando, el éxito de los tratamientos depende en gran medida del genotipo y del lote de la semilla, y en algunos casos se observan efectos negativos después del pretratamiento, además, el pretratamiento de las semillas puede restaurar o mejorar eficazmente el vigor de las semillas y garantizar el éxito de la conservación de los recursos de germoplasma y su posterior propagación, en particular en el caso de las semillas que sufren una grave pérdida de vigor (Pagano et al., 2023).

El proceso implica sumergir las semillas en agua o varias soluciones durante un período específico en condiciones controladas, seguido de un secado hasta

alcanzar el contenido de humedad original, se ha descubierto que esta técnica mejora el proceso de germinación y la tasa de emergencia de las plántulas y la producción de plántulas vigorosas incluso en condiciones ambientales desfavorables, como sequía, estrés por calor, salinidad, estrés por nutrientes y varios otros estreses ambientales que resultan en mejor soporte del cultivo y mayor rendimiento del cultivo (Amir et al., 2024).

## **2.6 Uso del yodo como nutriente benéfico**

El yodo al ser un elemento básico para el funcionamiento del metabolismo humano es esencial en la dieta e imprescindible en los alimentos de consumo diario, cuando los niveles de yodo son menores a lo requerido por la glándula tiroidea, se producen desórdenes por deficiencia de yodo, esto provoca que no se puedan sintetizar los niveles necesarios de las hormonas y causen síntomas como el bocio, el insuficiente desarrollo mental y físico en niños o la baja productividad en adultos (Lazarus, 2015).

Por ello, se hacen grandes esfuerzos para asegurar la adecuada ingesta de yodo por parte de la población, por ejemplo, la yodación de la sal de mes, de la misma manera, como alternativa, se considera un método adecuado de suministro de yodo el uso de diferentes técnicas de fertilización con yodo para biofortificar los cultivos, de ahí que la biofortificación con yodo sea un área activa de investigación, con resultados de gran relevancia. La aplicación agrícola del yodo para mejorar el crecimiento, la adaptación ambiental y la tolerancia al estrés en las plantas no ha sido bien explorada, aunque puede conducir a un mayor uso de este elemento en la práctica agrícola y así contribuir a la biofortificación de los cultivos (Medrano-Macías et al., 2016).

Como se ha mencionado en párrafos anteriores la fuente principal de yodo para el humano es la dieta, su concentración en los alimentos varía dependiendo del contenido de yodo en el suelo donde se producen estos alimentos, los suelos más

ricos en este elemento suelen ser aquellos que se derivan de rocas eruptivas, aunque la principal reserva la constituye el mar, este yodo marino se volatiliza fácilmente y reacciona con el oxígeno para luego, ser depositado en el suelo por medio de la precipitación (Plantin-Carrenard et al., 2020).

El balance entre la fijación y volatilización del yodo en el suelo depende de características tales como su contenido de materia orgánica, microbiota, el pH y su potencial oxido-reductor, esto da como resultado una amplia gama de concentraciones de yodo en suelo, reportándose así, valores que pueden ir de los 0.1 a 150 ppm, siendo más común encontrar niveles altos cerca de fuentes oceánicas (Johnson, 2003).

## **2.7 Bioestimulantes**

Hasta hoy no se dispone de una única definición, con aceptación unánime, de lo que constituye un bioestimulante, pero una definición puede ser la siguiente: Un producto formulado de origen biológico que mejora la productividad de las plantas como consecuencia de propiedades nuevas o emergentes del complejo de constituyentes, y no solamente como consecuencia de nutrientes esenciales, reguladores del crecimiento o compuestos protectores de las plantas (Yakhin et al., 2017).

El uso de bioestimulantes da como resultado la alteración de los procesos metabólicos que dan lugar al uso más eficiente de recursos ambientales, crecimiento o rendimiento sustancialmente mayor y la activación de mecanismos de defensa, con lo cuales logran mitigar los diferentes tipos de estrés (Juárez-Maldonado et al., 2019).

Los bioestimulantes ayudan a las plantas a mejorar la absorción de los nutrientes, tener un mayor desarrollo y benefician sus procesos fisiológicos como la fotosíntesis, síntesis de ácidos nucleicos o la absorción de iones, favoreciendo el

crecimiento y desarrollo de los cultivos, por todo esto, causan un incremento de rendimiento económico y productivo, lo que proporcionan una solución a los problemas de la producción agroindustrial, siendo una alternativa sostenible, generando productos innovadores con valor para la agricultura contribuyendo a una economía circular (Muñoz-Ibarra et al., 2023).

Los principales bioestimulantes vegetales son los hidrolizados de proteína vegetal o animal y otros compuestos que contienen nitrógeno, sustancias húmicas, extractos de algas marinas, extractos vegetales, biopolímeros, compuestos de origen microbiano, fosfito y silicio, entre otros, los mecanismos implicados en los efectos protectores de los bioestimulantes son variados en función del compuesto y/o del cultivo y están relacionados principalmente con la mejora de los procesos fisiológicos y de los aspectos morfológicos de las plantas, como la mejora de la formación y elongación de las raíces, el aumento de la absorción de nutrientes, la mejora de las tasas de germinación de las semillas y el mejor establecimiento de los cultivos, el aumento del intercambio catiónico, la disminución de la lixiviación, la desintoxicación de metales pesados, mecanismos implicados en la conductancia estomática y la transpiración de las plantas o en la estimulación del sistema inmunitario de las plantas frente a los factores estresantes (Shahrajabian et al., 2021).

## **2.8 Extractos botánicos**

Los extractos vegetales son preparados que se obtienen de la extracción de diferentes sustancias vegetales a partir de diversos procesos, como: maceración, fermentación, infusión, decocción y esencias, los principios activos presentes en cada planta son complejos fitoquímicos (metabolitos secundarios), podemos encontrar gran variedad y diferentes concentraciones, por lo que sus beneficios son variados. Existen compuestos activos que pueden servir para combatir plagas y enfermedades, así como estimulantes en el desarrollo vegetativo e inductores de resistencia ante factores abióticos, la eficacia de los extractos vegetales puede

depender de: especie e inclusive variedad vegetal, metodología de extracción, la calidad de las plantas utilizadas, concentración utilizada, además de que pueden obtenerse de distintas partes de la planta, como tallos, hojas, flores, corteza, etc. (SADER, 2020).

Los estudios acerca de la composición química de los extractos de plantas reportan que existen uno, dos o tres sustancias predominantes y que le dan las propiedades biológicas; sin embargo, las sustancias minoritarias influyen en el desempeño del extracto vegetal, dado que pueden tener u efecto sinérgico o antagónico con las mayoritarias (Bassolé & Juliani, 2012). Los principios activos en las plantas que se usan como bioestimulantes ya sean aromáticas o medicinales pueden ser relevantes en la interacción planta-planta y fuente primaria de uno o más compuestos bioquímicos. Los factores genéticos, agronómicos y ambientales determinan el uso de los extractos de plantas como agentes antimicrobianos, antifúngicos y antioxidantes (Bañuelos-Valenzuela et al., 2018).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación de la zona de estudio

La producción del forraje verde hidropónico se llevó a cabo durante el ciclo otoño-invierno en un invernadero con cubierta de polietileno blanco traslúcido con 20% de sombreado, en el cuál la radiación fotosintéticamente activa alcanzó valores máximos de  $1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  entre las 13:00 y 15:30 h así como también una temperatura máxima de  $38.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . El invernadero se encuentra en el área de investigación del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, ubicación geográfica a  $25^{\circ}21'10''$  de latitud norte y  $101^{\circ}2'9.88''$  longitud oeste, con una altitud de 1760 msnm.

#### 3.2 Material biológico

Se trabajó con semillas de maíz amarillo híbrido variedad Cuauhtémoc (Figura 1).



Figura 1. Semillas de maíz.

### 3.3 Obtención del forraje verde

#### 3.3.1 Selección de las semillas

Se escogieron las semillas eliminando todas aquellas que estaban partidas, de igual manera se eliminó cualquier otro residuo como tierra o piedritas (Figura 2).



Figura 2. Selección de las semillas.

#### 3.3.2 Lavado y desinfección de las semillas

Las semillas se lavaron y se desinfectaron con hipoclorito de sodio a una concentración de  $30 \text{ mL L}^{-1}$  de agua durante 5 minutos, posteriormente la semilla fue lavada con suficiente agua purificada y puesta en imbibición en cada solución cuya composición se muestra en el (Cuadro 1), durante 24 h a  $28 \pm 2^\circ\text{C}$  para lograr el tratamiento pregerminativo (Figura 3).

Cuadro 1. Tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas de maíz para la producción de forraje verde hidropónico.

Tratamiento	Concentración
T1: KI	$1 \times 10^{-3}$ (Mol/L)
T2: KI	$0.5 \times 10^{-3}$ (Mol/L)
T3: $KIO_3$	$1 \times 10^{-3}$ (Mol/L)
T4: $KIO_3$	$0.5 \times 10^{-3}$ (Mol/L)
T5 (Testigo)	-



Figura 3. Lavado y desinfección de las semillas.

### 3.3.3 Colocación de las semillas en charolas hidropónicas

Las semillas se colocaron en charolas para FVH de 53 x 25 x 2.5 cm, con una densidad de siembra de 800 g por charola/repetición, sobre una estructura metálica (Figura 4). El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar (DCA) con 5 tratamientos y 4 repeticiones.



Figura 4. Establecimiento del cultivo.

El riego fue por microaspersión, se aplicaron en promedio ocho riegos de un minuto (9.8 L por día), los primeros cinco días se usó agua potable y a partir del sexto día se aplicó una solución nutritiva diseñada y balanceada para FVH (nitrógeno total (N) 9.20%, fósforo asimilable ( $P_2O_5$ ) 1.40%, potasio asimilable ( $K_2O$ ) 10.90%, azufre (S) 2.00%, magnesio (Mg) 1.40%, calcio (Ca) 11.00%, hierro (Fe) 0.10%, boro (B) 0.02%, zinc (Zn) 0.003%, cobre (Cu) 0.004%, manganeso (Mn) 0.02%) (Hydro Enviroment, 2024). Durante tres días se cubrió la estructura metálica con un plástico negro y posteriormente se cubrió con una malla antiáfidos (Figura 5).



Figura 5. Día 3 y 5 después de establecer el cultivo

### **3.4 Colecta y caracterización del forraje verde hidropónico**

#### **3.4.1 Peso fresco y peso seco**

Transcurridos 14 días se cosechó el tapete de FVH (Figura 6) determinando el peso

fresco en cada charola con una balanza digital. Las muestras se guardaron en bolsas de papel estraza previamente etiquetadas y fueron secadas en una estufa a 70°C por 72 h para determinar el peso seco (Figura 7). La muestra obtenida de cada charola se homogenizó y se dividió en partes para determinar: el contenido de minerales usando un equipo de espectrofotometría ICP - OES marca Perkin Elmer, modelo Optima 8300 en el CINVESTAV. Otra parte de la biomasa seca se utilizó para obtener los extractos botánicos.



Figura 6. Cosecha de los tapetes de forraje verde hidropónico.



Figura 7. Muestras guardadas en bolsas previamente etiquetadas.

#### 3.4.2 Contenido de minerales en la biomasa del FVH

Se añadieron 5 mL de  $\text{HNO}_3$  a 0.5 g de muestra en un matraz seco de 250 mL y se agitó. Así todo el material quedó humedecido, luego se añadieron cuidadosamente 4 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 33% en una campana bien ventilada y se agitó ligeramente después de la adición. Se calentó en una placa caliente y se produjo una fuerte efervescencia. Cuando los humos marrones eran menos densos (7-8 minutos) la solución se dejó enfriar. Aún quedaba una disolución ligeramente amarilla y una pequeña cantidad de sólido blanco en suspensión. La disolución se filtró, se lavó con 5 mL de (1:1) HCl (densidad  $1.18 \text{ g mL}^{-1}$ ) y se diluyó hasta 25 mL con agua destilada (Pequerul et al., 1993) para su posterior análisis (Figura 8).



Figura 8. Digestión de muestras para determinar el contenido de minerales.

### 3.5 Utilización de la biomasa de los tapetes de forraje para fabricar extracto botánico

Para obtener los extractos botánicos concentrados se utilizó una proporción de 1:9 (p:v) de biomasa y solvente (1:1 v/v agua: alcohol etílico), el proceso fue por maceración. Se tomaron 100 g de biomasa seca y se colocaron en botellas de vidrio color ámbar y se añadió 1 L del solvente, se cerró el frasco y se dejó en un lugar oscuro para evitar la exposición a la luz, por ocho días, durante este periodo se estuvo agitando de forma manual dos veces al día. Transcurrido este tiempo se filtraron los extractos botánicos con un filtro Whatman No. 1 (Figura 9). Los extractos concentrados resultantes se almacenaron en botellas de vidrio color ámbar a una temperatura de  $3 \pm 1$  °C hasta su caracterización y uso.



Figura 9. Preparación de los extractos botánicos.

### **3.6 Caracterización de los 5 extractos botánicos concentrados en el Laboratorio de Fisiología**

- a) C.E (conductividad eléctrica): Se utilizó un medidor multifuncional portátil.
- b) pH: Se utilizó un medidor multifuncional portátil.
- c) Cantidad de compuestos fenólicos:

Los fenoles totales fueron cuantificados por técnica espectrofotométrica utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu (Ainsworth & Gillespie, 2007). En tubos de ensaye se colocaron 50  $\mu\text{L}$  del extracto de biomoléculas más 200  $\mu\text{L}$  del reactivo Folin-Ciocalteu 1 M, 500  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20% (p/v) y 5 mL de agua destilada. Posteriormente se puso a reaccionar a 45°C durante 20 minutos. Las muestras fueron leídas con el espectrofotómetro UV-VIS a una longitud de onda de 750 nm y las absorbancias obtenidas posteriormente se interpolaron en la curva de calibración trazada con estándar de ácido gálico.

### **3.7 Análisis estadístico**

Se realizó con el software InfoStat versión 2020 y las gráficas se obtuvieron con el software Microsoft Excel 2016, los datos obtenidos se sometieron a una prueba de normalidad de Shapiro Wilk, corroborando la distribución normal de los valores. Luego, se efectuó un análisis de varianza (Anova), usando la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Obtención del forraje verde hidropónico

#### 4.1.2 Peso fresco y peso seco

En la Figura 10 se muestran los resultados del peso fresco y peso seco donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, siendo el T3 un 11.25 % mayor al T1 en el caso del peso fresco, resultados similares encontrados por Birgi et al., (2018) donde reportan entre 18 y 21 kg·m<sup>2</sup> de FVH y rendimiento superior a 10.34 kg·m<sup>2</sup> que reportaron González M. et al., (2015). En cuanto al peso seco únicamente se presentaron diferencia significativa con el testigo el cual fue 27.77% menor que los demás tratamientos, esto se debe posiblemente a que la aplicación de yodo en diferentes concentraciones cambia la estrategia de reparto de la biomasa, su eficiencia de producción y la forma en que se utiliza para formar estructuras fotosintéticas (Cortés-Flores et al., 2016). Como se observa la forma de yodo afectó los valores de biomasa fresca, siendo el KIO<sub>3</sub> el que promovió un aumento.

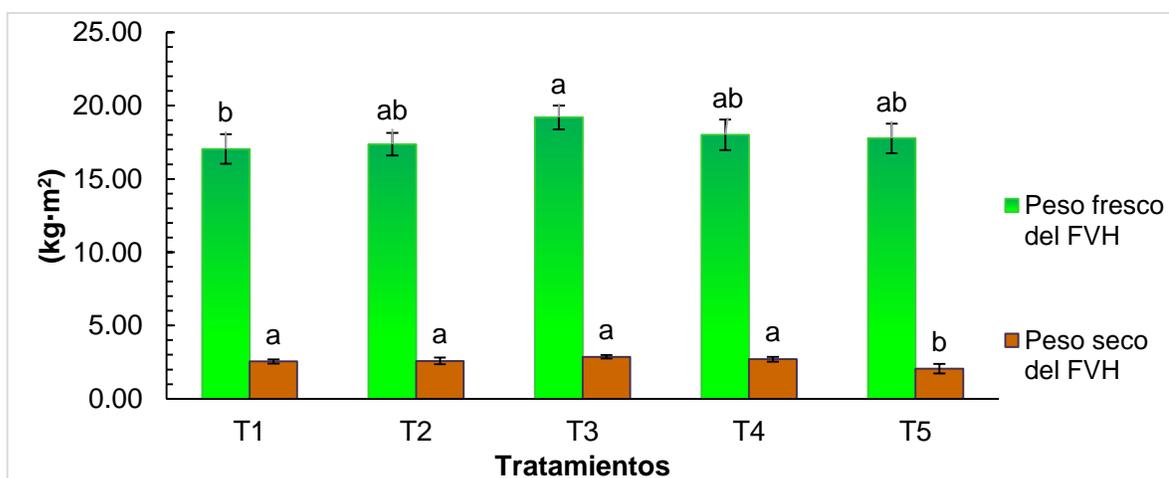


Figura 10. Peso fresco y peso seco del forraje verde hidropónico (FVH). T1: KI 1X10<sup>-3</sup> Mol/L, T2: KI 0.5X10<sup>-3</sup> Mol/L T3: KIO<sub>3</sub> 1X10<sup>-3</sup> Mol/L, T4: KIO<sub>3</sub> 0.5X10<sup>-3</sup> Mol/L, T5: H<sub>2</sub>O. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, p≤0.05).

## 4.2 Contenido de minerales en la biomasa del FVH

El contenido de macronutrientes excepto el Mg fueron superiores a lo reportado por otros autores en cultivos de maíz; Ca 70 mg/kg, K 2870 mg/kg, Mg 1270 mg/kg, P 2100 mg/kg Cuadro 2 (Siyuan et al., 2018). La concentración hallada de K es muy alta en todos los tratamientos esto se debe en gran parte por la forma en que se aplicó el yodo, sumándoles la facilidad que tiene este elemento para movilizarse dentro de la planta.

La concentración de  $1 \times 10^{-3}$  M/L de yoduro de potasio (T1) pareciera ser una concentración muy alta para el forraje verde hidropónico alcanzando niveles tóxicos y repercutiendo en la cantidad de nutrientes. Es importante mencionar que independientemente al tratamiento y por posibles efectos del seed priming debido al cambio del programa de desarrollo (Benavides-Mendoza & Lara, 2022) inclusive el T5 alcanzó valores más altos que los otros tratamientos con yodo.

Cuadro 2. Contenido de Macronutrientes.

<b>Tratamientos</b>	<b>Ca</b> mg/kg	<b>K</b> mg/kg	<b>Mg</b> mg/kg	<b>P</b> mg/kg
<b>T1</b>	855.99 a	15881.25 b	364.78 b	1587.13 b
<b>T2</b>	1241.63 a	36631.25 ab	641.09 ab	3745.13 ab
<b>T3</b>	1378.00 a	37286.25 ab	694.83 a	4091.63 a
<b>T4</b>	1261.50 a	36260.00 ab	674.00 ab	4027.63 ab
<b>T5</b>	1602.63 a	42875.00 a	809.63 a	4867.13 a

En cuanto al contenido de micronutrientes se presentaron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 3); en el T3 se encontró una mayor cantidad de B respecto a los otros tratamientos con excepción del T2, por su parte en el T1 se encontró la mayor cantidad de Fe e independientemente del tratamiento todos

los valores fueron mayores a lo reportado en cultivos de maíz; Fe 27.1 mg/kg, Zn 22.1 mg/kg (Siyuan et al., 2018). Al parecer la concentración más alta de yodo favoreció una relación antagónica entre B y Fe, siendo el KI el que provocó un aumento en Fe. Además, en contenido de Mn y Zn el T5 resultó ser el tratamiento con los valores más altos de micronutrientes, posiblemente por las concentraciones de yodo resultaron demasiado altas para ese mismo contenido.

Cuadro 3. Contenido de minerales micronutrientes.

<b>Tratamientos</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Zn</b>
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<b>T1</b>	31.31 b	144.08 a	2.85 b	0.94 a	0 a	18.95 c
<b>T2</b>	51.88 ab	102.85 ab	6.54 ab	1.26 a	0.275 a	38.53 bc
<b>T3</b>	62.84 a	79.28 b	7.48 ab	3.11 a	1.025 a	48.26 ab
<b>T4</b>	35.08 b	110.35 ab	6.71 ab	0.75 a	0 a	36.54 bc
<b>T5</b>	33.98 b	78.25 b	8.98 a	0.85 a	0.575 a	69.25 a

El seed priming puede promover la eficiencia en el uso de nutrientes por parte de las plantas. Esto significa que las plantas pueden absorber y utilizar los minerales de manera más efectiva, lo que puede resultar en un aumento del contenido de minerales en la biomasa vegetal, tal como se mostró en las tablas anteriores.

Adicionalmente los resultados obtenidos sugieren que el forraje verde hidropónico es una fuente óptima de macro y micronutrientes para suplir los requerimientos minerales en alimentación animal (Ramírez Viquez & Soto Bravo, 2017).

### 4.3 Caracterización de los extractos botánicos

Todos los extractos del forraje verde hidropónico mantuvieron un color verde oscuro y olor característico. Los valores de pH de todos los extractos se mantuvieron ligeramente ácidos (Cuadro 4). Esta ligera acidez permite una mejor estabilidad y conservación en el tiempo, lo que constituye una garantía de la calidad y seguridad del producto, con vista a investigaciones dirigidas a la comprobación de sus propiedades biológicas lo que concuerda con los resultados encontrados por (Rodríguez et al., 2018).

Cuadro 4. Parámetros físicos de los extractos de FVH.

Tratamientos	CE $\mu\text{s}/\text{cm}$	pH
EFVH-T1: KI $1 \times 10^{-3}$ Mol/L	1491.25 a	6.3 a
EFVH-T2: KI $0.5 \times 10^{-3}$ Mol/L	1573.5 a	6.05 a
EFVH-T3: KIO <sub>3</sub> $1 \times 10^{-3}$ Mol/L	1627 a	5.9 a
EFVH-T4: KIO <sub>3</sub> $0.5 \times 10^{-3}$ Mol/L	1628 a	5.9 a
EFVH-T5: Testigo (H <sub>2</sub> O)	1352.25 a	5.825 a

En la Figura 11 se muestran los resultados de la cuantificación de fenoles totales, el análisis indica variaciones significativas entre los extractos de forraje verde. El mayor contenido de fenoles totales se encontró en el extracto T2 siendo un 24.38 % mayor al testigo, siguiéndole el T4 con un 20 % mayor al testigo, ambos tratamientos con una concentración de  $0.5 \times 10^{-3}$  mol/L tanto de KI como de KIO<sub>3</sub>, tal como lo reportan otros autores donde el valor nutricional de las plantas se vio afectado positivamente por los tratamientos con yodo, ya que se incrementó el poder antioxidante foliar y acumulación de compuestos fenólicos (Kiferle et al., 2019).

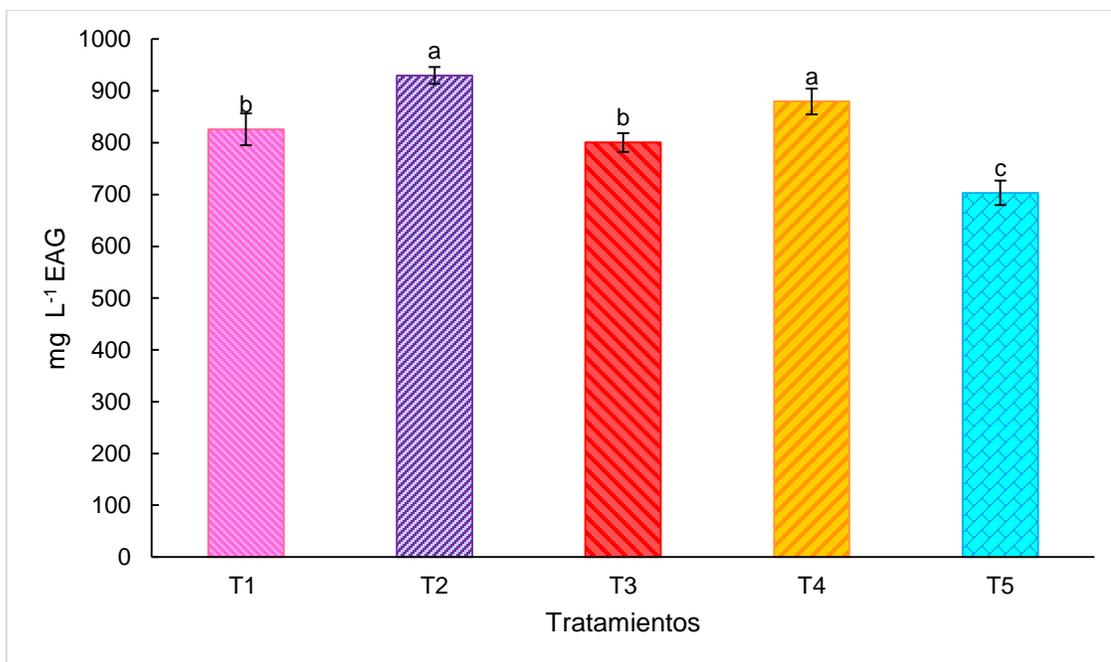


Figura 11. Contenido de fenoles totales en los extractos botánicos concentrados del forraje verde hidropónico (EFVH).

T1:(EFVH)-KI  $1 \times 10^{-3}$  Mol/L, T2: EFVH-KI  $0.5 \times 10^{-3}$  Mol/L, T3: EFVH-KIO<sub>3</sub>  $1 \times 10^{-3}$  Mol/L, T4 EFVH-KIO<sub>3</sub>  $0.5 \times 10^{-3}$  Mol/L, T5: EFVH-H<sub>2</sub>O. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). EAG: Equivalentes de ácido gálico. Los intervalos de las barras representan el error estándar.

La aplicación de yoduro y yodato de potasio en las plantas puede tener un impacto en el contenido de fenoles totales, aunque la naturaleza específica de este impacto puede depender de varios factores, incluida la especie vegetal, la dosis aplicada y las condiciones ambientales.

Tener una mayor concentración de fenoles totales en los cultivos puede ofrecer una serie de beneficios, incluida una mayor resistencia a enfermedades y plagas, una mejor protección contra el estrés ambiental, una regulación más efectiva del crecimiento y desarrollo de las plantas (Dehghanian et al., 2022).

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- Al usar como tratamiento pregerminativo o seed priming; KI y KIO<sub>3</sub> a concentraciones de  $1 \times 10^{-3}$  Mol/L aumentó el contenido de biomasa fresca del forraje verde hidropónico.
- Fue favorable el aplicar seed priming ya que aumentó significativamente el contenido de minerales en la biomasa del forraje verde hidropónico en todos los tratamientos.
- Al usar como tratamiento pre germinativo; KI y KIO<sub>3</sub> a concentraciones de  $0.5 \times 10^{-3}$  Mol/L para la producción de forraje verde hidropónico favoreció la obtención de extractos botánicos con alto contenido en compuestos fenólicos.
- Los extractos de FVH podrían considerarse como una alternativa verde para la creación de prototipos de un bioestimulante ecológico.

## 6. LITERATURA CITADA

- Abarca, P., Aguirre, C., Silva, L., Mora, D. & Carrasco, J. (2016). Producción de forraje verde hidropónico para la pequeña agricultura. *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.*, 321. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6483>
- Ainsworth, E. A. & Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*, 2(4), 875–877. <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>
- Amir, M., Prasad, D., Khan, F. A., Khan, A., Ahamd, B. & Astha. (2024). Seed priming: An overview of techniques, mechanisms, and applications. *Plant Science Today*, 11(1), 553–563. <https://doi.org/10.14719/pst.2828>
- Arendt, E. K. & Zannini, E. (2013). Cereal Grains for the Food and Beverage Industries. *Series in Food Science, Technology and Nutrition*, 248, 466. [https://books.google.com.mx/books?id=j\\_9DAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=j_9DAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Bañuelos-Valenzuela, R., Delgadillo-Ruiz, L., Echavarría-Cháirez, F., Delgadillo-Ruiz, O. & Meza-López, C. (2018). Composición química de extractos etanólicos de *Larrea tridentata*, *Origanum vulgare*, *Artemisa ludoviciana* Y *Ruta graveolens*. *Publicado Como ARTÍCULO En Agrociencia*, 52, 309–321. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952018000300309&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952018000300309&script=sci_arttext)
- Bassolé, I. H. N. & Juliani, H. R. (2012). Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules*, 17(4), 3989–4006. <https://doi.org/10.3390/molecules17043989>
- Benavides-Mendoza, A. (2021). *Agricultural biostimulants: importance and definition*. September, 1–11. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21104.58889>
- Benavides-Mendoza, A. & Lara, L. (2022). *Introducción a los bioestimulantes agrícolas*.

- Birgi, J. A., Gargaglione, V. & Utrilla, V. (2018). El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 44(3), 316–323. <https://www.redalyc.org/journal/864/86458368004/html/>
- Cortés-Flores, C., Rodríguez-Mendoza, M. N., Benavides-Mendoza, A., García-Cué, J. L., Tornero-Campante, M. & Sánchez-García, P. (2016). El yodo aumenta el crecimiento y la concentración de minerales en plántulas de pimiento morrón. *Agrociencia*, 50(6), 747–758. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952016000600747](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000600747)
- Costa, C. J., Meneghello, G. E., Jorge, M. H. A. & Costa, E. (2021). The importance of physiological quality of seeds for agriculture. *COLLOQUIUM AGRARIAE*, 17(4), 102–119. <https://doi.org/10.5747/ca.2021.v17.n4.a452>
- De la Fuente, M., González-Morales, S., Juárez Maldonado, A., Leija-Martínez, P. & Benavides-Mendoza, A. (2018). *Plant Nutrition and Agronomic Management to Obtain Crops With Better Nutritional and Nutraceutical Quality* (pp. 99–140). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811517-6.00004-0>
- Dehghanian, Z., Habibi, K., Dehghanian, M., Aliyar, S., Asgari Lajayer, B., Astatkie, T., Minkina, T. & Keswani, C. (2022). Reinforcing the bulwark: unravelling the efficient applications of plant phenolics and tannins against environmental stresses. *Heliyon*, 8(3), e09094. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09094>
- Devika, O. S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J. & Rakshit, A. (2021). Seed Priming: A Potential Supplement in Integrated Resource Management Under Fragile Intensive Ecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5(July), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.654001>
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción , conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 74–85.

- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- FAO. (1993). *El maíz en la nutrición humana*. <https://www.fao.org/4/t0395s/t0395s02.htm>
- FAO. (2001). Manual Técnico Forraje Verde Hidropónico - Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del INNFA. *Oficina Regional de La FAO Para América Latina y El Caribe. Santiago de Chile.*, 066, 55. <https://www.fao.org/3/ah472s/ah472s00.pdf>
- FAO. (2024). *Introducción al maíz y su importancia*. <https://doi.org/https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s02.htm>
- Flores Gutiérrez, S. & Chilon Camacho, E. (2019). Aplicación de abono orgánico líquido aeróbico en la producción de forraje verde hidropónico, en dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el Centro Experimental de Cota Cota. *Revista de La Carrera de Ingeniería Agronómica-UMSA*, 5(1), 1430–1440.
- Fuentes, J. E. G., Castellanos, B. F. H., Martínez, E. N. R., Ortiz, W. A. N., Mendoza, A. B. & Macías, J. M. (2022). Outcomes of foliar iodine application on growth, minerals and antioxidants in tomato plants under salt stress. *Folia Horticulturae*, 34(1), 27–37. <https://doi.org/10.2478/fhort-2022-0003>
- González M., E., Ceballos M, J. & Benavides B., O. (2015). Producción de forraje verde hidropónico de maíz *Zea mays* L. en invernadero con diferentes niveles de silicio. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(1), 75–83. <https://doi.org/10.22267/rcia.153201.26>
- González, N., Silos, H., Estrada, J. C., Chávez, J. A. & Tejero, L. (2017). Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 669–

680.

Gutiérrez Peralta, H. & Castañeda Sifuentes, R. (2017). Catálogo De Las Gramíneas (Poaceae) De Huancavelica, Perú. *Ecología Aplicada*, 16(1), 63–73. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i1.905>

Hydro Enviroment. (2024). *Solución nutritiva para Forraje Verde Hidropónico*. [https://doi.org/ttps://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=193](https://doi.org/ttps://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=product_info&products_id=193)

Johnson, C. C. (2003). Database of the iodine content of soils populated with data from published literature. *British Geological Survey Commissioned Report, CR/03/004N*, 40. <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/10725/1/CR03004N.pdf%0Ahttp://nora.nerc.ac.uk/10725/>

Juárez-López, P., Morales-Rodriguez, H., Sandoval-Villa, Manuel, Gómez-Danéx, A. & Cruz-Crespo, C. (2013). Producción De Forraje Verde Hidropónico. *Centro Regional Rayuente, INIA*, 13(2007–0713), 1–2. <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2015/05/Producción-de-forraje-verde-hidropónico.pdf>

Juárez-Maldonado, A., Ortega-Ortíz, H., Morales-Díaz, A. B., González-Morales, S., Morelos-Moreno, Á., Cabrera-De la Fuente, M., Sandoval-Rangel, A., Cadenas-Pliego, G. & Benavides-Mendoza, A. (2019). Nanoparticles and Nanomaterials as Plant Biostimulants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(1), 162. <https://doi.org/10.3390/ijms20010162>

Kato, T., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. & Bye, R. (2009). El origen y diversificación del maíz en México. In *Origen y diversificación del Maíz*.

Kiferle, C., Ascrizzi, R., Martinelli, M., Gonzali, S., Mariotti, L., Pistelli, L., Flamini, G. & Perata, P. (2019). Effect of Iodine treatments on *Ocimum basilicum* L.: Biofortification, phenolics production and essential oil composition. *PLOS ONE*, 14(12), e0226559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226559>

- Lazarus, J. H. (2015). The importance of iodine in public health. *Environmental Geochemistry and Health*, 37(4), 605–618. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9681-4>
- Medrano-Macías, J., Leija-Martínez, P., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A. & Benavides-Mendoza, A. (2016). Use of Iodine to Biofortify and Promote Growth and Stress Tolerance in Crops. *Frontiers in Plant Science*, 7(AUG2016), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01146>
- Muñoz-Ibarra, C. L., López-Domínguez, J. & Cruz-Cruz, C. A. (2023). Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible. *Insitituto de Genética Barbara McClintock*. <https://igbmgenetica.medium.com/bioestimulantes-el-futuro-de-una-agricultura-sostenible-37031b7ff7b7>
- Pagano, A., Macovei, A., Xia, X., Padula, G., Hołubowicz, R. & Balestrazzi, A. (2023). Seed Priming Applied to Onion-Like Crops: State of the Art and Open Questions. *Agronomy*, 13(2), 288. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020288>
- Pequerul, A., Pérez, C., Madero, P., Val, J. & Monge, E. (1993). A rapid wet digestion method for plant analysis. In *Optimization of Plant Nutrition* (Vol. 2, pp. 3–6). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-2496-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2496-8_1)
- Pita, J. & Perez, F. (2008). Germinación de semillas. *Hojas Divulgadoras*, 1, 1–20. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1998\\_2090.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf)
- Plantin-Carrenard, E., Beaudeau, J. & Foglietti, M. (2020). Physiopathology of iodine: Current interest of its measurement in biological fluids. *Annales de Biologie Cliniqu*, 58(4), 395–403. [https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/12388666\\_Physiopathology\\_of\\_iodine\\_Current\\_interest\\_of\\_its\\_measurement\\_in\\_biological\\_fluids](https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/12388666_Physiopathology_of_iodine_Current_interest_of_its_measurement_in_biological_fluids)
- Poddar, S., Banga, U. & Vishwavidyalaya, K. (2021). Seed priming -a sustainable approach for farming. *Science for Agriculture and Allied Sector: A Monthly e Newsletter*, 3(June), 8.

- Qaderi, M. M. (2023). Environmental Regulation of Weed Seed Dormancy and Germination. *Seeds*, 2(3), 259–277. <https://doi.org/10.3390/seeds2030020>
- Ramírez, A. C., Morales, A. A., Carrillo, A. T., Poveda, I. K. V., Osorio, M. S. & Murcia, V. M. R. (2021). Métodos y factores que influyen en la producción de forraje verde hidropónico. *Educación Comunitaria*, 181–190. <https://doi.org/10.2307/j.ctv21hrd9t.12>
- Ramírez Víquez, C. & Soto Bravo, F. (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Costarricense*, 41(2). <https://doi.org/10.15517/rac.v41i2.31301>
- Rica Amador, C. R. & Lorena, A. (2000). Agronomía Mesoamericana Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1), 171–177. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43711126>
- Rodríguez, A., Fung, Y., Ortiz, E., Díaz, U. & Ochoa, A. (2018). Parámetros físicos, físicos-químicos y químicos de extractos de *Origanum majorana* L. cultivado utilizando agua magnetizada. *Revista Cubana de Química*, 30(3), 470–482. <https://www.redalyc.org/journal/4435/443557797006/html/>
- SADER. (2020). Elaboración de Extractos Vegetales. *Programa Producción Para El Bienestar*, 30. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737322/10\\_Extractos\\_vegetales.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737322/10_Extractos_vegetales.pdf)
- Shahrajabian, M. H., Chaski, C., Polyzos, N. & Petropoulos, S. A. (2021). Biostimulants Application: A Low Input Cropping Management Tool for Sustainable Farming of Vegetables. *Biomolecules*, 11(5), 698. <https://doi.org/10.3390/biom11050698>
- Siyuan, S., Tong, L. & Liu, R. (2018). Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 7(3), 185–195.

<https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.09.003>

Soto, M. A. C., Reyes, A. S. J., Ahumada, J. A. R., Cervantes, M. G. & Barragán, H. B. (2012). Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Interciencia*, 37(12), 906–913.

Suazo, D. & Zelaya, A. (2020). *Exploración para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo para la alimentación de ganado lechero: Revisión de Literatura*. 35.  
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/580adc07-0cef-4213-812a-66450d2a742a/content#:~:text=El forraje verde hidropónico es,la vaca lechera como alimento>

Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A. & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7(January).  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>

Zagal, M., González, M., Salgado, S., Escalera, F., Peña, B. & Carrillo, F. (2016). Hydroponics mize green forage production with watering every 24 hours. *Abanico Veterinario*, 6(1), 29–34.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-61322016000100029](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-61322016000100029)