

EVALUACIÓN DE SUSTRATOS ORGÁNICOS DERIVADOS DEL AGAVE PARA GERMINACIÓN DE PEPINO

Rubén Alejandro Mata Pérez^{#1}, Norma Yadira Zacamo Velázquez^{#2}, Angélica Gutiérrez Limón^{#3}, Armando Ramírez González^{#4}, . [#]Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Zapotlanejo, Jalisco, México.
¹zt18081054@zapotlanejo.tecmm.edu.mx, ²norma.zacamo@zapotlanejo.tecmm.edu.mx,
³angelica.limon@zapotlanejo.tecmm.edu.mx, ⁴armando.ramirez@zapotlanejo.tecmm.edu.mx

Resumen - El estudio evaluó el residuo de la industria tequilera como alternativa para la producción de plántulas de hortalizas. Se analizaron las características físicas del bagazo de agave y se contrastaron con productos comerciales usados de forma común. El bagazo de agave, un residuo de la industria tequilera, genera problemas ambientales debido a su acumulación. Se exploraron alternativas de uso, destacando su potencial como sustrato para cultivos. Para ello, el bagazo se sometió a solarización y molienda en diferentes tamaños de partícula (0.5, 1 y 2 cm), y se evaluaron sus propiedades físicas en laboratorio y su desempeño para producción de plantas de pepino en invernadero. Los análisis mostraron que los sustratos de agave tienen una porosidad total adecuada (76-95 %), siendo comparables con la fibra de coco y superiores al peat moss en porosidad de aireación. La retención de agua fue mayor en los sustratos comerciales seguido del sustrato de agave de 0.5 cm. En el invernadero, las plántulas en peat moss presentaron mayor altura y biomasa, aunque el sustrato de agave de 0.5 cm mostró características similares a la fibra de coco, especialmente en biomasa y calidad del adobe (compactación del sustrato que protege las raíces durante el trasplante). En conclusión, el bagazo de agave, particularmente en partículas de 0.5 cm, es una alternativa viable y sostenible para germinar plantas de pepino, con ventajas en costos y calidad del adobe, aunque con menor crecimiento en comparación con el peat moss.

Palabras clave—Bagazo de agave, sustrato, plántulas, germinación.

I. INTRODUCCIÓN

Un sustrato se define como “cualquier medio que se utilice para el cultivo de plantas en contenedores... que permiten el anclaje de las raíces de las plantas y que por lo tanto desempeña un papel de soporte” [1]. Otro de los beneficios de su uso es el fácil manejo de plagas en el cultivo durante el desarrollo de las plántulas. Una problemática que lleva al uso de sustratos, son los suelos improductivos, así como suelos que carecen de características para la producción agrícola.

Un sustrato debe cumplir con ciertas características para ser utilizado en la producción agrícola: debe presentar propiedades

adecuadas para el crecimiento del cultivo.

Las propiedades físicas estudiadas en Pire [2] son:

La porosidad de aireación (PA); que es la cantidad de aire presente en el contenedor, la cual depende del tamaño de las partículas del sustrato.

La porosidad total (PT); Se refiere al espacio disponible en el contenedor que puede ser ocupado por aire o agua.

La capacidad de retención de agua (CRA). La capacidad de retención de agua es la cantidad de agua que permanece en el sustrato una vez que ha drenado el exceso.

Densidad aparente (DA). Hace referencia a la cantidad de masa seca presente en un centímetro cúbico de sustrato.

La densidad real (DR). Es la relación entre la masa de las partículas y el volumen que estas ocupan.

Además, debe considerarse la relación beneficio/costo. La disponibilidad en la región productora; y por último la facilidad del manejo.

Se ha señalado, que el sustrato representa el mayor costo de producción en la producción de hortalizas, en Cruz [1]. El costo del sustrato depende de factores como el lugar de procedencia, y la disponibilidad.

En Jalisco, se cosecharon 32 669 Ha de *Agave tequilana* Weber variedad azul, en Pérez [4], el Agave es la materia prima para la producción de tequila. Para la elaboración del tequila se lleva a cabo un proceso de cosecha, cocción de la piña de agave, molienda, fermentación y destilación del producto. Como residuo de la producción del tequila se generan gases, vinazas y bagazo de agave. Se tiene documentado que para la producción de 1 litro de tequila se requieren 6 kg de piña de agave, lo cual genera como residuo 4 kg de bagazo.

TABLA I
ESTIMACIÓN DE RESIDUOS EN LA PRODUCCIÓN DE TEQUILA

Producción de tequila 10 L	Agave requerido 10 kg	Hojas de agave 1 kg	Bagazo 10 kg	Vinaza 10 L
Tequila 51% Agave				
138.3	361.0	308.4	96.8	1383.0
Tequila 100% Agave				
191.7	981.5	837.7	268.4	1917.0
TOTAL				
330.0	1342.5	1146.1	365.2	3300.0

Fuente: Pérez [4].

En 2021 se registraron 360 mil toneladas de bagazo de agave como residuo del tequila mostrado en la tabla 1. En Pérez [4]. Las grandes cantidades de bagazo de agave provoca problemáticas tales como el colapso de los sistemas hídricos locales, problemas fitosanitarios por el mal manejo del residuo, vertederos clandestinos y contaminación ambiental.

II. ANTECEDENTES

Existen propuestas para la utilización del bagazo de agave reincorporado directamente al terreno de cultivo, no obstante, una investigación reveló que estas actividades generan un incremento en las emisiones de gases que contribuyen al calentamiento global comparado con el mismo producto sometido a un proceso de compostaje

Lo cual demuestra en Barrios [3]. que el bagazo de agave debe recibir un tratamiento previo antes de ser reincorporado al terreno de cultivo; para aplicar el tratamiento de composteado se requieren grandes extensiones de terreno, maquinaria de volteo y transporte, y un tiempo de aproximadamente 160 días de procesamiento. Esto conlleva en Acosta [5]. A una mayor inversión en el tratamiento del residuo lo cual propicia que las agroindustrias tengan vertederos clandestinos que son fuente de contaminación.

Se sugieren en Barrios [3]. Otras técnicas como el proceso de explosión por vapor para utilizar el bagazo de agave como medio para la germinación y desarrollo inicial de plantas, sin embargo son técnicas que resultan costosas y que no son accesibles para los productores de hortalizas.

De igual manera, se exploró la utilización del bagazo de agave en pellets como biocombustible, se concluyó que los pellets no cumplen con la norma ISO 17225, pero se obtuvo un avance en el conocimiento de los parámetros para posibles modificaciones, en Marzano [6].

Es importante continuar con los estudios para darle un uso benéfico, accesible y que no dañe el medio ambiente a los diferentes residuos de las agroindustrias.

III. SUSTRATOS PARA HORTALIZAS

[2]

La demanda de sustratos a nivel mundial va en aumento. Por otro lado, existe una restricción en el uso de los sustratos más comunes y comerciales conocidos, la turba y la fibra de coco como se menciona en Briones [3]. Esta problemática ha surgido por el aprovechamiento intensivo de los elementos del medio ambiente como las turberas, esto ha llevado al incremento de sus precios y por lo tanto al aumento en los gastos de producción de las hortalizas en Marzano [6].

Es importante la búsqueda de alternativas para solucionar la problemática de la demanda de los sustratos, estas alternativas deben cumplir con las características de que aporten a la sustentabilidad y sostenibilidad de la producción de hortalizas.

Por otro lado, estos sustratos alternativos deben producirse de forma suficiente y a bajo costo para que sea un producto rentable.

Las características de los sustratos deben ser las adecuadas para un adecuado desarrollo de las plantas en sus primeras etapas de desarrollo para evitar al máximo la pérdida de plántulas en el trasplante. El objetivo de este trabajo fue comparar el sustrato de bagazo de agave con sustratos comerciales en la producción de plántulas de pepino con la hipótesis de que el bagazo de agave, sirve para producir plántulas de pepino, con resultados iguales con los sustratos comerciales.

IV. METODOLOGIA

El bagazo de agave se trató con solarización por 10 días para eliminar humedad y minimizar la presencia de patógenos.



Figura 1. Bagazo de agave en solarización para su uso como sustrato

Posterior a esto, el bagazo se molió y se pasó por cribas de 0.5, 1 y 2 cm. Se utilizaron los sustratos comerciales de coco y peat moss como testigos.

Los tratamientos evaluados fueron:

- T1. Sustrato de agave (1/2 cm)
- T2. Sustrato de agave (1 cm)
- T3. Sustrato de agave (2 cm)
- T4. Coco (50/50)
- T5. Peat Moss

Las características del sustrato se evaluaron en el laboratorio de usos múltiples del TECMM UA Zapotlanejo, se siguió la metodología descrita por Pire & Pereira [2].

Para las mediciones de laboratorio se empleó el método de porómetros en Herrera [7] y Pire [2]. Estos porómetros fueron contruidos utilizando secciones de tubo de PVC de 7.62 cm de diámetro (3 pulgadas) y 15 cm de longitud. En uno de los extremos se fijó una tapa plástica, la cual fue perforada con cuatro orificios de 5 mm de diámetro, distribuidos equidistantemente cerca del borde. En el extremo opuesto se colocó un conector o anillo plástico, sin fijarlo de forma permanente.

Durante su uso, el porómetro se posicionó verticalmente, con la tapa perforada orientada hacia abajo. Se evaluaron sustratos previamente secados y molidos conforme a los tratamientos establecidos. Las muestras se introdujeron en el porómetro hasta llenarlo por completo. Luego, se procedió a compactarlas

dejando caer el cilindro dos veces desde una altura de 7.5 cm sobre una mesa de trabajo. Tras cada impacto, se añadía más sustrato hasta alcanzar el borde superior del cilindro.

Posteriormente, los cilindros llenos fueron sumergidos en un recipiente con agua, asegurando que el nivel del líquido quedara justo por debajo del borde superior del tubo. Este procedimiento permitió que el agua ingresara por los orificios inferiores, facilitando la salida del aire por la parte superior. Aunque el tiempo de saturación variaba según el tipo de muestra, todas fueron dejadas en el agua hasta el día siguiente para garantizar uniformidad en el proceso.



Figura 2. Porómetros usados para el experimento con los sustratos evaluados.

Durante el proceso de humedecimiento, el sustrato se expandió, generando un excedente. Para corregirlo, se retiró cuidadosamente el anillo superior del porómetro y se eliminó el material sobrante. Luego, con ayuda de una espátula, se niveló la superficie del sustrato al ras del borde del tubo. Posteriormente, el extremo expuesto de la muestra fue cubierto con un trozo de tela porosa (liencillo), asegurándolo con una banda elástica.

Después, los cilindros fueron colocados verticalmente sobre un recipiente; se destaparon los orificios inferiores y se recolectó el volumen de agua drenada (V_a) durante un periodo de 10 minutos. A continuación, se extrajo la muestra húmeda del cilindro y se registró su peso húmedo (PH). Las muestras fueron luego secadas en estufa a 105 °C hasta alcanzar un peso constante, con lo cual se determinó el peso seco (PS). Este procedimiento se llevó a cabo por triplicado.



Figura 3. Sustratos de agave antes del secado en estufa.

A. Variables evaluadas

Con los datos recabados se realizaron los cálculos necesarios para determinar propiedades físicas de la muestra como indica la literatura en Pire [2] :

$$\text{Porosidad total(\%)} = \frac{V_a + \frac{PH - PS}{Pa}}{V_c} \times 100$$

$$\text{Porosidad de aireación(\%)} = \frac{V_a}{V_c} \times 100$$

$$\text{Capacidad de retención de agua (\%)} = \frac{PH - PS}{V_c} \times 100$$

$$\text{Densidad aparente (Mg/m}^3\text{)} = \frac{PS}{V_c}$$

$$\text{Densidad de partículas (Mg/m}^3\text{)} = \frac{D_a}{1 - \frac{PT}{100}}$$

Dónde

V_a = Volumen drenado (cm^3)

PH= Peso húmedo de la muestra (g)

PS= Peso seco de la muestra (g)

P_a = Peso específico del agua (1 g/cm^3)

V_c =Volumen del tubo o cilindro (cm^3)

Después de la medición de las características de los sustratos, los sustratos se llevaron al invernadero para la evaluación del desarrollo de las plántulas.

Se llenaron 30 cavidades con cada uno de los sustratos a evaluar, se sembró una semilla variedad Altaria F1 por cavidad a una profundidad de 1 cm. Los semilleros se regaron con agua corriente y se mantuvieron a temperatura ambiente hasta su germinación figuras 4 y 5.



Figura 4. Semilleros llenos con los sustratos para las germinaciones de pepino



Figura 5. Plántulas de pepino germinadas en sustrato

Diámetro del tallo

La medición del diámetro del tallo se realizó utilizando un vernier, a una altura de 3 cm desde la superficie del sustrato. La lectura se efectuó a los 25 días después de la siembra en semillero (DDS). Esta variable fue evaluada mediante tres repeticiones por tratamiento, considerando 10 plantas de pepino por repetición.

Altura de la planta

Se midió con una regla graduada, desde la superficie del sustrato hasta el extremo superior de cada planta. El procedimiento de análisis fue el mismo que el aplicado para la variable de diámetro del tallo en la figura 6.



Figura 6. Mediciones de plántulas de pepino

Calidad del adobe

Se evaluó el día 25 (DDS) de acuerdo a la escala visual sugerida por Roldan & Soto [9].

1: el 100 % del adobe sale íntegro cuando se extrae la planta de la celda.

2: sale el 90 % del adobe.

3: sale el 75 % del adobe.

4: sale el 50 % del adobe.

5: sale menos del 50% del adobe o la raíz desnuda cuando se toma la planta de la celda.

Longitud de la raíz

La longitud de la raíz se tomó con una regla graduada, a partir del punto de inserción del tallo (cuello de la raíz), hasta el extremo inferior de la raíz. Se tomaron 3 repeticiones por tratamiento, en donde cada repetición constó de 10 plantas de pepino.

Peso seco de la planta y de la raíz

Se tomaron el día 25 DDS, las plántulas se sacaron de las celdas del semillero, y cuidadosamente se les retirará el sustrato. La raíz se lavó con agua corriente para retirar el exceso de sustrato y obtener la raíz desnuda. Las plantas limpias se colocaron en estufa de secado a 65 ° C. Se tomó el peso de las plantas cada dos días hasta obtener peso constante mostrado en la figura 7.



Figura 7. Lavado de plántulas de pepino y preparación para el secado y medición de biomasa

Los datos obtenidos se analizaron con un diseño completamente al azar con 3 repeticiones por tratamiento y se utilizó el programa estadístico SAS con una probabilidad del 95 %.

B. Resultados

De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis de varianza, se identificaron diferencias estadísticas significativas en las variables: porosidad total, porosidad de aireación, capacidad de retención de agua y densidad aparente. En contraste, no se observaron diferencias significativas en la variable densidad de partícula entre los tratamientos evaluados como se ve en la tabla 2.

TABLA 2
CARACTERÍSTICAS DE LOS SUSTRATOS EVALUADOS

Variable	Media	Desviación Estándar	F	Valor-P
Porosidad total	9.52	0.48	5.15	0.016**
Porosidad de aireación	7.65	2.31	95.94	<0.01**
Capacidad de retención de agua	16.86	2.47	308.43	<0.01**
Densidad aparente	0.08	0.05	25.46	<0.01**
Densidad de partículas	1.89	1.69	0.99	0.45 NS

** altamente significativo NS no significativo

Dado que se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los tratamientos, se aplicó la prueba de Tukey con el fin de identificar cuáles de ellos presentaban diferencias entre sí. Los resultados correspondientes se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3
GRUPOS HOMOGÉNEOS DE LAS VARIABLES DEL SUSTRATO ANALIZADAS

Tratamiento	Porosidad total (%)	Porosidad de aireación (%)	Capacidad de retención de agua (%)	Densidad aparente (Mg/m³)
Agave (1/2 cm)	95.83 a	78.92 a	16.86 c	0.076 b
Agave (1 cm)	93.48 a	89.82 a	6.99 d	0.04 c
Agave (1*2 cm)	87.92 a	84.19 a	4.49 d	0.03 c
Coco (50/50)	94.45 a	46.33 b	48.08 b	0.10 b
Peat Moss	76.44 b	12.25 c	64.08 a	0.17 a

Los sustratos de agave evaluados fueron agrupados estadísticamente en el mismo grupo que la fibra de coco para la variable PT, y fueron mayores a la PT mostrada en el peat moss. Para la variable, PA los sustratos de agave se agruparon con una media mayor en comparación con la fibra de coco y el peat moss, este último mostró la PA menor Tabla 3.

La CRA fue mayor en el peat moss, seguido de la fibra de coco, el sustrato de agave de 0.5 cm mostró una mayor CRA en comparación con los sustratos de agave de 1 y 2 cm. El sustrato de agave de 2 cm es el que retuvo una menor cantidad de agua (4.4 %). La DA fue mayor en el sustrato peat moss, la fibra de coco y el sustrato con el tamaño de partícula de 0.5 cm fueron estadísticamente iguales con DA (0.10 y 0.076 Mg/m³). Los sustratos de tamaño de partícula de 1 cm y 2 cm fueron estadísticamente iguales.

Los análisis de varianza para la experimentación en invernadero muestran diferencias estadísticas entre los tratamientos. Excepto para la variable diámetro del tallo en donde se muestra que los tratamientos son estadísticamente iguales como se ve en la tabla 4.

TABLA 4
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS VARIABLES DE LAS PLÁNTULAS EN INVERNADERO

Variable	Media	Desviación Estándar	F	Valor-P
Altura	8.49	1.198	34.18	<0.01**
Biomasa	0.65	0.026	12.33	0.0007**
Diámetro del Tallo	0.19	0.022	1.94	0.1078 NS
Longitud radicular	14.59	3.185	7.32	<0.01**

Al encontrar diferencias en el análisis de varianza se procedió a realizar la prueba de Tukey Tabla 5.

TABLA 5
VALORES PROMEDIO DE LAS VARIABLES ALTURA, BIOMASA Y LONGITUD RADICULAR DE LAS PLÁNTULAS DE PEPINO

Tratamiento	Altura (cm)	Biomasa (g)	Longitud radicular (cm)
Agave (1/2 cm)	8.23 c	0.64 b	14.59 bd
Agave (1 cm)	7.53 d	0.57 b	15.31 b
Agave (1*2 cm)	7.83 cd	0.45 c	13.01 d
Coco (50/50)	8.68 b	0.61 b	17.31 a
Peat Moss	9.93 a	0.76 a	17.19 a

Los resultados obtenidos muestran que las plantas crecidas en el sustrato comercial peat moss presentaron una mayor altura, seguido de la fibra de coco, los sustratos de agave mostraron las menores alturas de planta. En la variable biomasa se observa que la mayor biomasa la obtuvieron las plantas crecidas en el sustrato peat moss, seguido de la fibra de coco que se agrupó estadísticamente con los sustratos de agave con tamaño de partículas de 0.5 y 1 cm. El sustrato de agave de 2 cm mostró una biomasa estadísticamente menor. La longitud de la raíz fue mayor en los sustratos comerciales peat moss y fibra de coco. Seguido de los sustratos de agave, la mayor longitud de raíz se obtuvo en el sustrato de 1 cm. seguido del sustrato de 0.5 cm y finalmente el sustrato agave de 2 cm. Tabla 5.

Para la variable calidad del adobe los resultados muestran que el sustrato de agave de 0.5 cm fue el sustrato que mostró una mayor calidad del adobe, lo que permite una protección a las raíces al momento del trasplante, seguido de los sustratos de agave de 1 y 2 cm y la fibra de coco con el 90 % y finalmente se encontró el peat moss, en el cual se encontró un porcentaje de 83 %. Esto indica que al momento del trasplante el adobe del sustrato de peat moss se deshace con una mayor facilidad mostrada en figura 8 y 9.

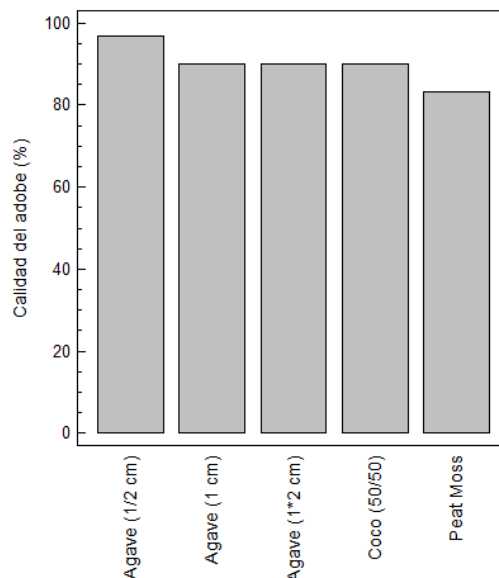


Figura 8. Calidad del adobe de los sustratos evaluados en invernadero



Figura 9. Adobes del sustrato de peat moss extraídos de los semilleros

Según los resultados obtenidos la PT de los sustratos evaluados se encuentra entre el 76 y 95 %, lo cual indica que son aptos para ser usados para la germinación de plántulas, estos parámetros son los indicados por Pire & Pereira [2] quienes indican que los sustratos en contenedores deben tener entre el 70 y 90 %. Solo el sustrato de tamaño 0.5 cm obtuvo una PT del 95 %, la PA está en función de la compactación del sustrato. La PA estuvo entre 12% y 89 %, siendo el peat moss con un menor porcentaje (12 %) y los sustratos de agave con una mayor PA. Esto es, la PA está relacionada con la CRA. La PT en general está por arriba del límite del 30 % establecido por Poole et al. [10] e Insausti [11].

La mayor CRA se observó en el peat moss, la fibra de coco tuvo una CRA del 48 % seguido del agave con partícula de 0.5 cm. los sustratos de 1 y 2 cm tuvieron la menor CRA, lo cual indica que son los menos óptimos para el crecimiento de plántulas. La DA fue mayor para el sustrato peat moss seguido de la fibra de coco, que fue igual al sustrato de agave de 0.5 cm, esto nos indica que el sustrato de agave de partícula pequeña presenta características similares a al sustrato comercial fibra de coco. La densidad aparente baja es importante ya que los valores bajos provocaron el volcamiento de plantas durante su

desarrollo.

La altura de la planta, la biomasa y el diámetro del tallo fueron mayores en el sustrato peat moss, seguido del sustrato de fibra de coco, la altura de las plántulas fué menor en los sustratos de agave.

En el caso de la biomasa, fué estadísticamente igual en la fibra de coco y el sustrato de agave de 0.5 cm. La biomasa menor se presentó en el sustrato de agave de 2 cm. Esto indica que el sustrato de agave de 0.5 cm resultó igualmente utilizable de acuerdo a las variables analizadas que el sustrato comercial de fibra de coco.

La longitud de la raíz fué mayor en los sustratos comerciales de peat moss y fibra de coco. Los elaborados con agave mostraron una longitud de la raíz 3 cm menor a las raíces de las plántulas crecidas en los sustratos comerciales. En cuanto a los sustratos de agave, la mayor longitud de raíz la presentó el sustrato de agave de 0.5 cm Figura 10.

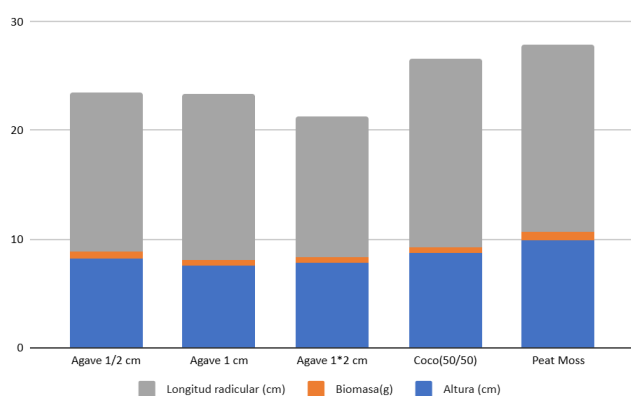


Figura 10. Gráfica de los datos de la tabla 5.

En la variable calidad del adobe se mostró que el sustrato de peat moss presentó una menor calidad del adobe. Y los sustratos de agave mostraron una mayor calidad del adobe. Esto es benéfico a la hora del trasplante, ya que evita que las raíces se encuentren expuestas al aire y representa una buena característica, ya que permite una recuperación y fácil obtención de las plántulas del semillero sin dañar la planta.

V. CONCLUSIÓN

Los sustratos de agave son promisorios para la germinación de plántulas en semillero, las características de los sustratos son estadísticamente diferentes al peat moss pero son muy similares a las presentadas por la fibra de coco. Según los resultados, se muestra que el sustrato de agave de 0.5 cm es el tamaño de particular que mostró los mejores resultados, se deben mejorar las variables de PA y CRA, por lo cual se recomienda hacer mezclas para mejorar estas variables y obtener mejores resultados. El desarrollo de las plántulas fué apropiado aunque se obtuvieron resultados diferentes al peat moss que se usó como sustrato comercial. Sin embargo las plántulas mostraron un buen desarrollo y con la calidad para ser trasplantadas. Cabe mencionar que el bagazo de agave sólo llevó un proceso

de solarización y molienda y de esta manera puede ser utilizado como sustrato para semilleros y crecimiento de plántulas de pepino.

REFERENCIAS

- [3] E. Cruz Crespo, A. Can Chulim, M. Sandoval Villa, R. Bulgarin Montoya, A. Robles Bermúdez, y P. Juárez López, Sustratos en la horticultura. México: CONACYT, 2013. p.18, [En línea]. Disponible en: <https://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/31/29>
- [4] R. Pire y A. Pereira, "Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica," Bioagro, vol. 15, no. 1, pp. 55–64, 2003. [En línea]. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [5] J. M. R. Barrios, E. S. Pérez, L. L. A. Sotelo, J. A. Hernández, V. M. O. Chaparro, D. R. G. Eguiarte, y R. R. Macías, "Propiedades físicas y químicas de sustratos formulados con bagazo de agave y corteza de pino sometidos a explosión con vapor," Biotecnia, vol. 26, pp. e2389–e2389, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-14562024000100181&script=sci_arttext
- [6] A.D.C. Pérez, A.E. Vargas y E.X.M. García. La vinculación universidad-empresa como estrategia para impulsar procesos de producción sostenibles en el sector tequilero de Jalisco, México. Revista Raites, 10(20). 2025. p. 32. [En línea]. Disponible en: <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/raites/article/view/3819/2638>
- [7] L. L. Acosta Sotelo, E. Salcedo Pérez, G. S. Benedicto Valdés, J. F. Gallardo Llancho, J. F. Zamora Natera, y J. Casas Solís, "Bagazo y composta de bagazo de agave tequilero en suelos contrastantes: 3. Respiración del suelo y emisiones de gases efecto invernadero," Biotecnia, vol. 26, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-14562024000100126&script=sci_arttext
- [8] R. J. Marzano, The Art and Science of Teaching. Alexandria, VA: ASCD, 2007. [En línea]. Disponible en: <http://naturalezaytecnologia.ugto.mx/index.php/nyt/article/view/488>
- [9] F. Herrera, J. E. Castillo, A. F. Chica, y L. L. Bellido, "Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants," Bioresour. Technol., vol. 99, no. 2, pp. 287–296, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852407000181>
- [10] D. Dilger, "Container substrate and irrigation," The Woody Ornamentalist, vol. 23, no. 1, pp. 1–2, 1998. [En línea]. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=612350&pid=S1316-3361200300010000700009&lng=es
- [11] G. Q. Roldán y C. M. Soto, "Evaluación de sustratos para almárgos de hortalizas," Agron. Mesoamér., vol. 16, no. 2, pp. 171–183, 2005. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43716207.pdf>
- [12] R. Poole, C. Conover, y J. Joiner, "Soil and potting mixture," en Foliage Plant Production, J. N. Joiner, Ed. Virginia, New Jersey: Prentice Hall, 1981, pp. 179–202. [En línea]. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=612361&pid=S1316-3361200300010000700020&lng=es
- [13] J. Insausti, "El sustrato ideal," Flor, Cultivo y Comercio, vol. 6, no.2, pp. 15–16, 1993. [En línea]. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=612358&pid=S1316-3361200300010000700017&lng=es

¹Rubén Alejandro Mata Pérez, egresado de la carrera de ingeniería en innovación agrícola sustentable del Tecnológico Nacional de México y del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, campus Zapotlanejo. Correo electrónico institucional zt18081054@zapotlanejo.tecmm.edu.mx. Correo electrónico zt18081054@zapotlanejo.tecmm.edu.mx.

<https://orcid.org/0009-0000-4155-9087>

²**Dra. Norma Yadira Zacamo Velázquez**, profesora de asignatura del Tecnológico Nacional de México y Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez en la Carrera de Ingeniería en innovación agrícola sustentable. Correo electrónico institucional, norma.zacamo@zapotlanejo.tecmm.edu.mx. con. Egresada de la licenciatura en ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Guadalajara. Estudios de doctorado en biociencias con especialidad en biotecnología agrícola de la Universidad de Guadalajara, Centro universitario de los altos. <https://orcid.org/0000-0003-0926-8081>.

³**PhD. Gutiérrez Limón Angélica**, con perfil PRODEP, Profesora de tiempo completo del Tecnológico Nacional de México y Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Docente de las carreras de Ingeniería Industrial, Ingeniería en Administración y Contador Público. e-mail angelica.limon@zapotlanejo.tecmm.edu.mx. con Licenciatura en Economía egresada de la Universidad de Guadalajara. Maestría en Administración egresada de la Universidad de Guadalajara y Maestría en Ingeniería en Manufactura 4.0 en la universidad digital ALINCO. Doctorado en Economía en Atlantic International University. <https://orcid.org/0000-0001-7947-7706>.

⁴**Ing. Ramírez González Armando** Profesor de tiempo completo del Tecnológico Nacional de México y Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Docente de la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable. e-mail, armando.ramirez@zapotlanejo.tecmm.edu.mx. con Licenciatura en ingeniero agrónomo egresado de la Universidad de Guadalajara. Actualmente terminada la maestría de Dirección de los agronegocios en La universidad de la innovación y del conocimiento UNINNCO. <https://orcid.org/0009-0000-9240-6734>