



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

“Efecto de la fibra de agave (*Agave tequilana* Weber var. Azul) como sustrato en la producción bajo invernadero de pepino (*Cucumis sativus*) y su calidad poscosecha”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

PRESENTA:

Q.F.B. Esther Nazareth Meza Calvillo

DIRIGIDA POR:

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

Junio, 2022

México



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

“Efecto de la fibra de agave (*Agave tequilana* Weber var. Azul) como sustrato en la producción bajo invernadero de pepino (*Cucumis sativus*) y su calidad poscosecha”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

PRESENTA:

Q.F.B. Esther Nazareth Meza Calvillo

DIRIGIDA POR:

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios
Presidente

Dr. Miguel Urrestarazu Gavilán
Secretario

Dr. Edmundo Mercado Silva
Vocal

Dr. Ramón G. Guevara González
Suplente

Dr. Gerardo Manuel Nava Morales
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Junio 2022
México

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD DEL ESTUDIANTE

Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras.

Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento



Q.F.B. Esther Nazareth Meza Calvillo

DEDICATORIA

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este.

A mi hermana, por siempre tener su eterno apoyo durante el proceso.

A mi sobrino Leonel, fue poco el tiempo que te tuvimos, pero quedas grabado en nuestros corazones.

A Tsiseje, Lupita y Ramón, nada de esto hubiera podido suceder sin su constante ánimo y palabras de aliento en este trabajo.

A Charlie, por estar presente a un lado mío y por ser tan comprensivo, paciente y apoyándome en cada momento de la elaboración de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme vivir esta experiencia.

A mi comité, por sus valiosas aportaciones y por haberse tomado el tiempo de enriquecer este trabajo de investigación.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, por haberme aceptado y darme la oportunidad de ser parte de ella y recibirme con los brazos abiertos.

A cada uno de los docentes con los que coincidí durante mi estancia en la universidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento a lo largo de mi estadía del posgrado.

Índice general

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 14 |
| 2. Antecedentes | 16 |
| 2.1 Sustratos para la producción agrícola en invernadero | 16 |
| 2.2 Composición del agave | 19 |
| 2.2.1 Industrialización del agave | 19 |
| 2.3 Bagazo de agave como residuo agroindustrial | 20 |
| 2.3.1 Usos alternativos del bagazo de agave | 21 |
| 2.4 Agricultura protegida en México | 22 |
| 2.4.1 Cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) | 23 |
| 2.4.1.1 Pepino persa | 25 |
| 2.4.2 Calidad de frutos del pepino persa | 25 |
| 2.4.3 Producción agrícola del pepino en México | 26 |
| 2.4.3.1 Producción de pepino persa en invernadero | 26 |
| 3. Justificación del proyecto | 28 |
| 4. Objetivo | 29 |
| 4.1 Objetivo General | 29 |
| 4.2 Objetivos Específicos | 29 |
| 5. Materiales y métodos | 30 |
| 5.1 Material biológico | 30 |
| 5.2 Estrategia experimental | 30 |
| 5.3 Métodos | 32 |
| 5.3.1 Pruebas preliminares y secado del bagazo de agave | 32 |
| 5.3.2 Análisis de las propiedades físicas del sustrato | 33 |
| 5.3.2.1 Morfología de las fibras de agave y coco | 33 |
| 5.3.2.2 Determinación de densidad aparente (norma ASTM D4531-86) | 33 |
| 5.3.2.3 Determinación de densidad real (Norma UNE-EN 13041:2012) | 34 |
| 5.3.2.4 Determinación de la porosidad total (Norma UNE-EN 13041:2012) | 35 |
| 5.3.2.5 Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA) | 35 |
| 5.3.3 Análisis de las propiedades químicas de los sustratos | 36 |

| | |
|---|----|
| 5.3.3.1 Contenido de azúcares reductores | 36 |
| 5.3.3.2 Determinación del contenido de materia orgánica y de cenizas (Norma UNE-EN 13039:2012) | 37 |
| 5.3.3.3 Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE) (Norma UNE-EN 13037:2012 y UNE-EN 13038:2012) | 38 |
| 5.3.3.4 Determinación de capacidad de intercambio catiónico (CIC) | 38 |
| 5.3.3.5 Análisis del contenido de minerales en las fibras | 39 |
| 5.3.3.6 Relación Carbono/ Nitrógeno | 39 |
| 5.3.4 Elaboración del sustrato a base de fibra de agave | 40 |
| 5.3.5 Pruebas de desempeño del sustrato en invernadero | 40 |
| 5.3.5.1 Crecimiento de las plantas y diámetro de tallo | 41 |
| 5.3.5.2 Número y tamaño de las hojas | 42 |
| 5.3.5.3 Distancia a la última flor, número de frutos y rendimiento | 42 |
| 5.3.5.4 Determinación de la capacidad de drenaje | 43 |
| 5.3.6 Pruebas para evaluar la calidad poscosecha del pepino | 43 |
| 5.3.6.1 Selección de frutos para la evaluación de calidad poscosecha | 43 |
| 5.3.6.2 Apariencia física/registro fotográfico | 44 |
| 5.3.6.3 Largo y diámetro del fruto | 44 |
| 5.3.6.4 Pérdida de peso | 44 |
| 5.3.6.5 Color | 44 |
| 5.3.6.6 Firmeza | 45 |
| 5.3.6.7 Contenido de sólidos solubles totales (SST) y determinación de pH | 45 |
| 5.3.6.8 Determinación del porcentaje de acidez titulable | 45 |
| 5.3.7 Diseño y Análisis estadístico | 46 |
| 6 Resultados y discusión | 47 |
| 6.1 Secado de bagazo | 47 |
| 6.1.1 Determinación de grados Brix | 48 |
| 6.2 Análisis de las propiedades físicas del bagazo | 49 |
| 6.2.1 Morfología de las fibras de agave y coco | 49 |
| 6.2.2 Caracterización física de las fibras | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 6.2.2.1 Densidad real de las fibras | 51 |
| 6.2.2.2 Densidad aparente de las fibras | 51 |
| 6.2.2.3 Porosidad total de las fibras | 52 |
| 6.2.2.4 Capacidad de retención de agua de las fibras | 52 |
| 6.3 Caracterización química de las fibras | 54 |
| 6.3.1 Contenido de materia orgánica de las fibras | 54 |
| 6.3.2 Contenido de cenizas de las fibras | 56 |
| 6.3.3 pH de las fibras | 56 |
| 6.3.4 Conductividad eléctrica de las fibras | 57 |
| 6.3.5 Capacidad de intercambio catiónico | 58 |
| 6.3.6 Contenido mineral de las fibras | 58 |
| 6.3.7 Contenido de azúcares reductores | 59 |
| 6.3.8 Relación de Carbono/Nitrógeno | 60 |
| 6.4 Variables agronómicas del cultivo de pepino en invernadero | 60 |
| 6.4.1 Crecimiento de las plantas en invernadero | 60 |
| 6.4.2 Diámetro de tallo | 61 |
| 6.4.3 Número y tamaño de las hojas | 63 |
| 6.4.4 Distancia a la última flor | 66 |
| 6.4.5 Número de frutos y rendimiento del cultivo | 66 |
| 6.4.6 Capacidad de drenaje | 69 |
| 6.5 Calidad poscosecha de los frutos de pepino | 70 |
| 6.5.1 Apariencia de los frutos | 70 |
| 6.5.2 Pérdida de peso | 71 |
| 6.5.3 Firmeza | 73 |
| 6.5.4 Color | 75 |
| 6.5.5 Sólidos solubles totales | 75 |
| 6.5.6 Acidez titulable | 77 |
| 7. Conclusiones | 80 |
| 8. Referencias bibliográficas | 81 |
| 9. Anexo | 96 |

Índice de cuadros

| | | |
|-----------|--|----|
| Cuadro 1. | Características químicas de la fibra de coco | 18 |
| Cuadro 2. | Composición química de la fibra de agave | 20 |
| Cuadro 3. | Comparación de medias de las propiedades físicas de la fibra de coco (FC) y fibra de agave (fibra de inulina=FI; Fibra de tequila=FT) | 50 |
| Cuadro 4. | Comparación de medias de las propiedades químicas de la fibra de coco (FC) y fibra de agave (fibra de inulina=FI; Fibra de tequila=FT) | 55 |
| Cuadro 5. | Coordenadas color de frutos de pepino cultivado en diferentes fibras. | 76 |

Índice de figuras

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1. | Esquema de la composición química de una fibra vegetal. | 20 |
| Figura 2. | Tipos comerciales de pepino. | 24 |
| Figura 3. | Estrategia general del uso y manejo de las fibras | 31 |
| Figura 4. | Apariencia del bagazo de tequila y bagazo de inulina | 32 |
| Figura 5. | Medición del crecimiento de la planta. | 41 |
| Figura 6 | Medición del diámetro del tallo de la planta y tamaño de las hojas del cultivo de pepino. | 42 |
| Figura 7. | Pérdida de peso durante el secado del bagazo de inulina a 50°C, 60°C y 70°C. | 47 |
| Figura 8. | Pérdida de peso durante el secado del bagazo de tequila a 50°C, 60°C y 70°C. | 48 |
| Figura 9. | Observación en microscopio Olympus SZX16 con el objetivo 2X. | 50 |
| Figura 10. | Diferentes tamaños de partícula que se encuentran en la fibra de coco comercial | 53 |
| Figura 11. | Crecimiento del cultivo de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave. | 62 |
| Figura 12. | Diámetro del tallo del cultivo de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave. | 63 |
| Figura 13. | Número de hojas de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave. | 64 |
| Figura 14. | Tamaño de las hojas de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave. | 65 |
| Figura 15. | Distancia de la última flor de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave. | 67 |
| Figura 16. | Número de frutos de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave. | 68 |
| Figura 17. | Rendimiento total del cultivo de pepino en kg/m ² /semana de los diferentes tratamientos. | 68 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 18. | Apariencia del desarrollo de las raíces de las plantas de pepino después de 9 semanas en los distintos tipos de fibras. | 71 |
| Figura 19. | Apariencia física de los pepinos sembrados en distintos tipos de fibra. | 72 |
| Figura 20. | Largo de los pepinos durante 9 semanas de almacenamiento. | 72 |
| Figura 21. | Diámetro de los pepinos durante 9 semanas de almacenamiento. | 73 |
| Figura 22. | Porcentaje de pérdida de peso del pepino durante 9 días de almacenamiento. | 74 |
| Figura 23. | Firmeza expresada en Newtons del pepino durante 9 días de almacenamiento. | 76 |
| Figura 24. | Sólidos solubles totales expresado en grados Brix del pepino durante 9 días de almacenamiento. | 77 |
| Figura 25. | Acidez titulable expresada en % de ácido cítrico del pepino durante 9 días de almacenamiento. | 78 |

Resumen

Los cultivos sin suelo son una tecnología que se caracteriza por el uso de sustratos; medio sólido que proporciona la base y condiciones adecuadas para el desarrollo correcto de una planta. El sustrato orgánico más demandado es la fibra de coco (FC), la cual posee excelentes características; sin embargo, es un producto que se importa generando altos costos y el coco mexicano no alcanza la calidad demandada. Se ha estimado que en 10 años habrá una reducción en la producción de cocoteros de hasta un 80% y habrá una demanda mundial para el 2030 según la SADER. De manera que se deben buscar alternativas en otros materiales de origen orgánico. La fibra de agave, es un residuo agroindustrial del tequila y de la extracción de inulina que se genera en grandes cantidades cada año. El objetivo de este trabajo fue evaluar fisicoquímicamente la fibra de agave no composteada proveniente de la industria de tequila (FT) y de inulina (FI) para evaluar su potencialidad como sustrato en la producción de pepino bajo condiciones de invernadero y sus efectos en la calidad poscosecha de los frutos en comparación con fibra de coco (FC). Las fibras húmedas se secaron en condiciones controladas. La FC presentó la mayor capacidad de retención de agua (84%), seguida de FT (67%) y FI (41%). Los valores de pH estuvieron dentro del rango óptimo (FC=5.06, FT=4.05, FI=5.18), la conductividad eléctrica fue relativamente baja pero dentro de los rangos óptimos (FC= 0.76, FT= 0.46, FI= 0.40), la FC presentó la mayor capacidad de intercambio catiónico (FC=68.54, FT=25.21, FI=33.54), la relación C/N fue alta en las fibras de agave (FT= 109.2, FI= 97.5) pero significativamente diferente a la FC (206.9). El desempeño de las fibras de agave (FT y FI) como sustrato en el desarrollo de plantas y producción de pepino mostro comportamientos similares a la FC; el rendimiento y la calidad se obtuvieron valores similares (FC=23.935, FI=22,696, FT=22.653 kg/m²/semana). La fibra de agave sin compostear proveniente de la industria del tequila presenta características prometedoras para ser usadas como sustrato en condiciones de invernadero, no así la fibra de inulina.

Palabras clave: fibra de agave, fibra de coco, sustrato, pepino, calidad poscosecha.

Abstract:

Soilless crops are a technology that is characterized by the use of substrates; solid medium that provides the base and adequate conditions for the correct development of a plant. The most demanded organic substrate is coconut fiber (FC), which has excellent characteristics; however, it is a product that is imported generating high costs and the Mexican coconut does not reach the quality demanded. It has been estimated that in 10 years there will be a reduction in coconut production of up to 80% and there will be a global demand by 2030 according to SADER. Therefore, alternatives must be sought in other materials of organic origin. Agave fiber is an agro-industrial residue from tequila and inulin extraction that is generated in large quantities each year. The objective of this work was to physicochemically evaluate non-composted agave fiber from the tequila (FT) and inulin (FI) industries to evaluate its potential as a substrate in cucumber production under greenhouse conditions and its effects on quality. postharvest of the fruits in comparison with coconut fiber (FC). The wet fibers were dried under controlled conditions. FC presented the highest water retention capacity (84%), followed by FT (67%) and FI (41%). The pH values were within the optimal range (FC=5.06, FT=4.05, FI=5.18), the electrical conductivity was relatively low but within the optimal ranges (FC= 0.76, FT= 0.46, FI= 0.40), the FC presented the highest cation exchange capacity (FC=68.54, FT=25.21, FI=33.54), the C/N ratio was high in agave fibers (FT= 109.2, FI= 97.5) but significantly different from FC (206.9). The performance of agave fibers (FT and FI) as a substrate in plant development and cucumber production showed behaviors similar to FC; similar values were obtained for yield and quality (FC=23.935, FI=22.696, FT=22.653 kg/m²/week). The uncomposted agave fiber from the tequila industry shows promising characteristics to be used as a substrate in greenhouse conditions, but not the inulin fiber.

Keywords: agave fiber, coconut fiber, substrate, cucumber, postharvest quality.

1. Introducción

La agricultura protegida en invernadero se caracteriza por emplear sustratos en lugar de suelo, que hace más eficiente los recursos minerales y el agua en la producción hortícola particularmente de tomate, pimiento y pepino con mayores

rendimientos. Un sustrato es el material sólido de naturaleza orgánica o inorgánica que sostiene la raíz de la planta, a la vez que permite su adecuado desarrollo. El sustrato orgánico de mayor uso en México es la fibra de coco; sin embargo, una de las desventajas es que debe importarse desde Sri Lanka elevando los costos de producción hortícola. Por otro lado, el coco mexicano no alcanza la calidad demandada, principalmente por su alta salinidad, que genera una alta conductividad eléctrica que disminuye la absorción de agua por las raíces y por ende de nutrientes (Gayoso *et al.*, 2016), además de la alta heterogeneidad del material. Por otro lado, se estima que en 10 años habrá una reducción de hasta un 80% en la producción de coco debido a problemas asociados al mismo cultivo y sin embargo habrá una demanda mundial para el 2030 (Vázquez-Aguilar, 2018). Existen diversos intentos para encontrar materiales orgánicos alternativos a la fibra de coco, entre ellos se encuentran la cascarilla de arroz, orujo de uva y paja de trigo. Particularmente en México la fibra de agave es el subproducto que se obtiene de la industria del tequila y de la producción de inulina. El agave genera alrededor de 390 mil toneladas de bagazo cada año; una parte se destina a la industria del papel o a la elaboración de fibras industriales, pero su principal destino es dejarlo compostear a cielo abierto representando contaminación ambiental; actualmente se ha propuesto para usarse en la transformación de biopolímeros o biocombustibles; sin embargo, dado la naturaleza química de las fibras éstas pueden tener un potencial uso como sustratos. Se han realizado estudios en los cuales se ha utilizado la fibra de coco en combinación con la fibra de agave composteada en la producción de tomate sin observar diferencias en la calidad del fruto; sin embargo, el proceso de composteado puede durar entre 6-9 meses lo cual representa un impacto negativo al medio ambiente. El presente estudio evalúa las características fisicoquímicas de la fibra de agave sin compostear, de tequila e inulina, para obtener un sustrato que pueda sustituir a la fibra de coco evaluando su desempeño en el desarrollo y el crecimiento de plantas de pepino bajo condiciones de invernadero y la calidad poscosecha de sus frutos.

2. Antecedentes

2.1 Sustratos para la producción agrícola en invernadero

La producción agrícola bajo el esquema de invernadero no usa suelo; en su lugar se ha valido de diversos materiales denominados sustratos que entre la principal función es el anclaje del sistema radicular de la planta y el suministro constante de agua y nutrientes (Barros, 1997). Se ha reportado que la distribución del tamaño de poros (determinada por la distribución del tamaño de partícula) es la propiedad física más importante que afecta las condiciones de aireación y el contenido hídrico de los sustratos (Nichols, 2009).

Abad y Noguera (2000) reportan que las funciones más importantes de un sustrato son proporcionar un medio ambiente para el crecimiento de las raíces (aportar agua, aire y mantener nutrientes), así como construir una base adecuada para su anclaje y soporte. Por su parte, Abad *et al.*, (2005) sugieren que la finalidad de los sustratos es producir una planta de calidad en un periodo corto de tiempo, con bajos costos de producción y sin provocar un grave impacto ambiental. Debido a estas características se debe de evaluar la mejor elección de sustrato.

Los criterios para clasificar los sustratos se basan en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades y su capacidad de degradación; sin embargo, la clasificación más común es en base a su naturaleza orgánica e inorgánica (Burés, 1997; Gruda, 2019).

El mejor sustrato, para cada caso de cultivo variará de acuerdo con numerosos factores; entre ellos destaca el tipo de material vegetal con el que se trabaja (semillas o plantas), la especie vegetal, las condiciones climáticas, los sistemas y programas de riego y fertilización, y los aspectos económicos (Urrestarazu, 2004).

Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas se requieren las siguientes propiedades físicas del sustrato: una elevada capacidad de retención de agua (CRA) fácilmente disponible o asimilable (600–1000 mL/L), suficiente suministro de aire, buena distribución del tamaño de las partículas (0.25–2.5 mm), baja densidad aparente, elevada porosidad total (85%) y una estructura estable que impida la contracción (o hinchazón) del sustrato (Urrestarazu, 2015; Revista InfoAgro, 2017).

En cuanto a las propiedades químicas del sustrato, éstas incluyen alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), suficiente nivel de nutrientes asimilables, baja salinidad, pH ligeramente ácido y moderada capacidad amortiguadora, así como una mínima tasa de descomposición.

En el Anexo 1 y 2, se muestran las propiedades físicas y químicas que presentan los distintos tipos de sustratos de origen orgánico e inorgánico y los valores de referencia deseable como sustrato hortícola considerado óptimo (Urrestarazu, 2015). A pesar de ser varias las características que debe de reunir un sustrato para uso hortícola, las dos más importantes son la capacidad de almacenar y ceder fácilmente el agua que el cultivo va a demandar durante el periodo de desarrollo de las raíces y la capacidad de proporcionar a la rizosfera el oxígeno que demanda en todo momento del cultivo (Urrestarazu, 2015).

Debido a sus buenas características de retención de agua y de aireación, la fibra de coco (FC) se ha convertido gradualmente en la alternativa más potencial para ser usado como sustrato en los cultivos (Xiong *et al.*, 2017). Además, puede soportar los cambios de pH inducidos por la adición de nutrientes y fertilizantes durante el ciclo del cultivo, lo cual es muy favorable.

La FC comercial se obtiene de la cáscara del coco, la cual se compone de un 70% de fibra y un 30% de médula o polvillo (Panyakaew y Fotios, 2011); sin embargo, estas proporciones pueden variar dependiendo de las necesidades o el tipo de cultivo para el que se use. Este material es importado de Sri Lanka, Vietnam, India y Filipinas (Panyakaew y Fotios, 2011) y se trata de bloques de aproximadamente de 1 a 6 kg de fibra de coco muy comprimida con la finalidad de minimizar el espacio físico para el transporte; este bloque puede llegar a expandirse hasta un volumen de 14 L cuando se humedece (Maher *et al.*, 2008). Las características químicas de la FC se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características químicas de la fibra de coco.

| Parámetro | Valor |
|------------------|--------------|
|------------------|--------------|

| | |
|--|------------------------|
| pH | 5.0 – 6.5 |
| Conductividad eléctrica | 2.15 dSm ⁻¹ |
| Nitrógeno total | 0.51 % |
| Fósforo total (P ₂ O ₅) | 0.20 % |
| Potasio total (K ₂ O) | 0.60 % |
| Calcio total (CaO) | 1.40 % |
| Magnesio total (MgO) | 0.20 % |
| Sodio total (Na ₂ O) | 0.187 % |
| Hierro total (Fe) | 0.206 % |

Tomado de Nichols, 2009.

La FC no supone un problema al medio ambiente ya que se usa las cáscaras derivadas del fruto de coco (Quintanilla, 2010); sin embargo, las FC utilizadas actualmente en los invernaderos pudieran llegar a ser un material costoso y difícil de obtener debido a la importación; existen varias marcas comerciales mexicanas; sin embargo, sus características fisicoquímicas no son de la misma calidad que las fibras de coco provenientes de Sri Lanka (Paulitz, 2001). El principal problema es la alta salinidad y la heterogeneidad en los lotes.

La importancia de buscar nuevos materiales orgánicos provenientes de los subproductos de la industria para poder ser usados como materiales de sustrato ha aumentado el interés (Carlile *et al.*, 2019).

En México la elaboración y producción del tequila y la extracción de inulina comparten la misma materia prima, el agave azul. Ambas actividades generan grandes cantidades de residuos, Iñiguez *et al.*, (2011), utilizaron bagazo de agave al cual adicionaron NH₄NO₃ para ajustar la relación C:N durante el composteo por 126 días logrando obtener un material con características hidrológicas muy similares a la de turba; este material composteado lo probaron como sustrato en la producción de jitomate comparándolo con sustratos comerciales (estopa de coco y “cocopeat”); reportando que no encontraron diferencias significativas ($p < 0.5$) en la

producción y calidad de jitomate. A pesar de que resulto similar a los sustratos comerciales se necesita de más de 4 meses para lograr las propiedades necesarias para ser usado en invernadero; sin embargo, el compost así producido puede emplearse como enmienda para suelos agrícolas (Crespo *et al.*, 2018).

2.2 Composición química del agave

Después de que la planta de agave llega a su madurez en un periodo de 6 a 10 años, la parte de la planta que es utilizada para la elaboración del tequila o mezcal es la piña, la cual debe pesar entre 25 y 45 kg (Guzmán, 2009). El principal carbohidrato complejo presente en el agave es la inulina, el cual es un polímero de fructosa con un residuo terminal de glucosa; sin embargo, la calidad de las piñas se determina por el contenido de azúcares reductores (glucosa y fructosa), un contenido de 25 a 30% (°Bx) se considera de alta calidad (Téllez, 1998). Las fibras de agave están compuestas principalmente por celulosa, lignina, hemicelulosa y minerales (cenizas) (Figura 1; Cuadro 2) (Cruz *et al.*, 1999; Iñiguez-Covarrubias *et al.*, 2001; Bessadok *et al.*, 2009, Gumeta, 2009, Abreu, 2013).

Se ha reportado que el bagazo de agave ésta compuesto principalmente de fibras de carbohidratos estructurales del tipo lignocelulósicos, la cual está formada por 43% de celulosa, 19% de hemicelulosa y 15% de lignina (Abreu, 2013), además de otros compuestos como las cenizas, nitrógeno y material orgánico (Rigal, 2015).

2.2.1 Industrialización del agave

A través de los años en nuestro país la planta del agave ha tenido diversos usos debido al alto porcentaje de fructosa en su jugo el cual se obtiene principalmente de la piña; este carbohidrato es altamente fermentable con lo cual se obtienen bebidas alcohólicas como el aguamiel, tequila, mezcal y pozol, entre los más importantes (NOM-070-SCFI-2016).

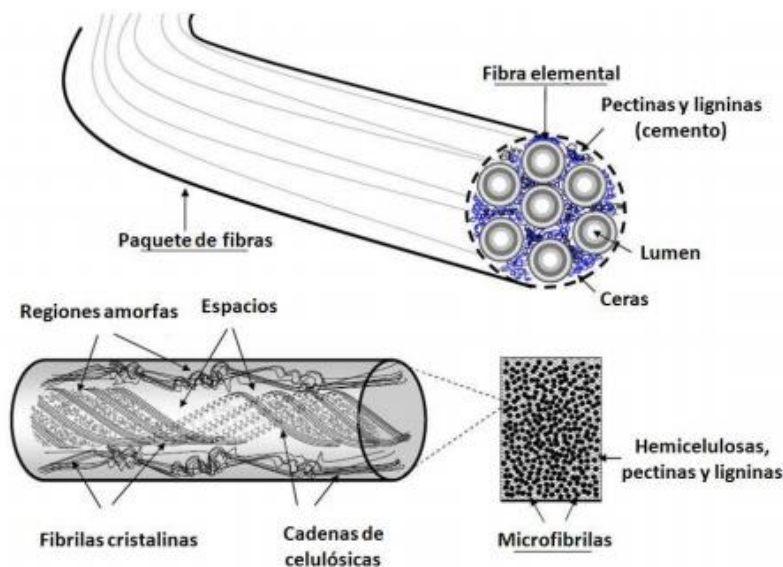


Figura 1. Esquema de la composición química de una fibra vegetal. Fuente: Gumeta, (2009).

Cuadro 2. Composición química de la fibra de agave.

| Componente químico | Composición (% base seca) |
|--------------------|---------------------------|
| Celulosa | 43 |
| Hemicelulosa | 19 |
| Lignina | 15 |
| Cenizas | 6 |

Tomado de Abreu, 2013.

2.3 Bagazo de agave como residuo agroindustrial

Para la producción del tequila se usa el jugo que se extrae del prensado de la piña tratada térmicamente. Mientras que para obtener la inulina se usa el jugo de las piñas crudas, es decir, que no ha recibido un tratamiento térmico. Ambos procesos generan residuos sólidos que representan un potencial de contaminación ambiental ya que generalmente este tipo de residuos se deja al ambiente donde puede contaminar tanto el aire como cuerpos de agua. La contaminación del aire es

debido a la generación de aromas por la fermentación de la materia orgánica (composteo) derivada de la actividad microbiana; mientras que la contaminación del agua es debido a la lixiviación de compuestos de bajo peso molecular (Gallardo, 2017). En México, de acuerdo con Gallardo (2017) la producción de bagazo se registra en aproximadamente 5 kg por cada litro de tequila. Considerando los datos del Consejo Regulador del tequila, en el 2016 se registró una producción de tequila de 273.73 millones de litros y se estimó que la generación de bagazo fue de 4 709 000 toneladas.

2.3.1 Usos alternativos del bagazo de agave

Se han realizado diversos esfuerzos para aprovechar el bagazo de agave; el uso más común es como fertilizante orgánico mediante el composteo que se incorpora a los campos de cultivo para mejorar los suelos, cuyos beneficios son reducir el uso de agroquímicos, evitar la erosión del suelo y prevenir enfermedades en las plantas (Gallardo, 2017). En el ámbito de los biopolímeros, éstos se generan por degradación microbiana del bagazo de agave tequilero (González-García *et al.*, 2005). Por otro lado, de los materiales lignocelulósicos presentes en el bagazo de agave se obtienen biocombustibles de segunda generación (Abreu, 2013). Todos estos carbohidratos se clasifican como polisacáridos estructurales, los cuales comparten características como la formación de puentes de hidrógeno intermoleculares que producen fibras muy rígidas, insolubles en agua; enlaces glucosídicos generalmente β resistentes a enzimas digestivas, microorganismos y agentes químicos; y particularmente tienen la capacidad de absorber o retener agua (Arreguín-Cortez *et al.*, 2007). Estas características proporcionan al bagazo de agave la posibilidad de usarse como sustrato en la producción agrícola; principalmente del tipo en invernadero donde se requieren materiales con alta capacidad de retención de agua.

Existen reportes donde se ha usado el bagazo de agave mezcalero como sustrato. Martínez-Gutiérrez *et al.*, (2012) evaluaron la combinación de un sustrato hecho de fibra de coco (25%) con vermiculita (75%) contra un sustrato hecho a partir de

bagazo de agave mezcalero (25%) con vermiculita (75%) en cultivos de melón y tomate. Reportaron que el mayor rendimiento de tomate (12.4 kg/m²) se obtuvo con la mezcla de coco y vermiculita; en contraste, la mezcla de bagazo de agave y vermiculita produjo el mayor rendimiento en melones (3.2 kg/m²). También reportan que la mezcla de la vermiculita, ya sea con coco o con agave, mejora la granulometría y por ende la CRA.

En otro trabajo, Martínez *et al.*, (2013) utilizaron bagazo de mezcalero de agave con tres tiempos de composteo, 0, 90 y 180 días, como sustrato orgánico en el cultivo de tomates (*Solanum lycopersicum L.*). Informaron que la calidad de la fruta no se vio afectada por los diferentes tiempos de composteo; sin embargo, el mayor rendimiento se logró en las plantas que crecieron en el sustrato con 180 d de composteo.

Por su parte, Crespo *et al.*, (2013) usaron bagazo de agave composteado como abono para producir plántulas de agave en mezcla con fibra de coco a diferentes porcentajes durante 9 meses; encontraron que las diferentes mezclas favorecieron el diámetro de la piña y el tamaño de la hoja en comparación con el testigo (80% coco, 10% turba y 10% bagazo composteado). La mejor mezcla fue de la 50% de coco y 50% de agave composteado logrando tener un mayor número de hojas con mayor longitud, lo que significa mayor número de órganos productores de fotoasimilados y de reserva.

2.4 Agricultura protegida en México

La agricultura protegida es el sistema de producción realizado bajo diversas estructuras y cubiertas, entre los que destacan los invernaderos, que tienen como característica básica la protección contra los riesgos inherentes a la producción de cultivos a libre exposición; su función principal es recrear las condiciones óptimas y apropiadas de radiación, temperatura, humedad y control de dióxido de carbono, para generar la reproducción, desarrollo y crecimiento de plantas, incrementando

la producción en cantidad, calidad y oportunidad comercial (Castañeda *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 2011).

En México la agricultura protegida está presente en los 32 estados del país, con una extensión superior a las 42 mil hectáreas de superficie protegida a nivel nacional. Según datos reportados por el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), México pasó de sembrar 132 hectáreas protegidas en el país en 2003, a 50,999 en 2018. Los sistemas de horticultura protegida en México se distribuyen de la siguiente manera: el 27% fue en invernaderos, 29% en túneles de aro o macro túnel y 45% de casas de sombra, de acuerdo a la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (AMHPAC; 2019). El 50% de la superficie de agricultura protegida se concentra principalmente en los estados de Sinaloa (20%), Jalisco (20%) y Michoacán (17%), donde predominan los sistemas de malla sombra y macro túnel que se consideran de baja tecnología, mientras que en la mayor parte del país predominan los invernaderos.

La producción de hortalizas representa el 56% de la superficie sembrada de manera protegida, principalmente bajo invernadero y malla sombra; mientras que los frutales representan el 38%, la floricultura el 5% y el 1% restante se destina a la producción de avena forrajera. Dentro de las hortalizas que mayormente se produce en invernadero destaca el tomate con el 55%, seguido de pimiento (20%) y pepino (20%).

2.4.1 Cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es uno de los cultivos hortícolas de mayor consumo a nivel mundial por su valor nutrimental (Waris *et al.*, 2014), se considera de alto potencial económico por ser un producto de exportación que se cultiva y consume en muchas regiones del mundo (Vasco, 2003; Gálvez, 2004). Es una planta

herbácea de la familia de las cucurbitáceas cuyo fruto es en baya y es no climatérico, se consume en estado de inmadurez fisiológica (Barraza-Álvarez, 2015).

Los frutos de pepino poseen alto contenido de agua (96.7%) y pocas calorías (9 cal); además contienen vitamina A (20UI), vitamina B1 (0.02 mg), vitamina B3 (0.1 mg), vitamina C (8 mg), y minerales como calcio (7 mg), potasio (147 mg), hierro (0.3 mg), fósforo (30 mg) y magnesio (13 mg) (Kazemi, 2013).

Las características que principalmente se toman en cuenta a la hora de reconocer los diferentes tipos de pepino son el tamaño del fruto (longitud o relación longitud/diámetro), el número de días hasta su recolección y las relacionadas con la superficie o piel (protuberancias, espinas, nervaduras, depresiones y color) (Sakata *et al.*, 2010). Shetty y Wehner (1998) establecieron cinco tipos de pepinos en los que quedan agrupadas gran parte de las variedades cultivadas en el mundo: tipo corto o español, tipo francés o slicer, tipo europeo, tipo Beit Alpha o persa y el tipo oriental.



Figura 2. Tipos comerciales de pepino. Zamora, 2017.

2.4.1.1 Pepino Persa

El pepino persa (*Cucumis sativus* L.) también conocido como mini pepino, pepino Libanes y Beit Alpha, produce frutos sin semillas o partenocárpicos. Los frutos son cortos en longitud, de color verde oscuro, sabor dulce y tienen una piel delgada que no requiere pelarse para ser consumidos (Zamora, 2017).

Existen varios tipos de pepinos, pero la calidad denominada como persa tiene la ventaja de que puede producirse bajo invernadero, con la consideración de que las paredes laterales de éste sean suficientemente altas para permitir una buena circulación del aire en torno a las plantas (Shaw *et al.*, 2000).

El cultivo de pepino va adquiriendo cada vez mayor importancia en el país, aumentando sus cifras productivas en los últimos años. Representa el 6.4% con respecto a la producción nacional de hortalizas; el consumo anual per cápita oscila entre 2.4 kg. En 2018 México ocupó el sexto puesto mundial entre los principales países productores de pepino, donde Sinaloa y Sonora fueron las entidades con mayor producción (SAGARPA, 2019).

La planta de pepino Persa es anual, crece como una guía con flores femeninas, pero a diferencia de los pepinos europeos y americanos produce un racimo de flores en cada nudo. Dependiendo de la variedad, dos, tres o hasta siete flores salen en cada nudo (Zamora, 2017).

2.4.2 Calidad de frutos del pepino persa

Los índices de cosecha en los pepinos varían de acuerdo a los estados de desarrollo. Comúnmente, los frutos de pepino Persa desarrollan su madurez comercial de 7 a 10 días después de que las flores se hayan abierto y son menos susceptibles a daños después de la cosecha que los frutos del tipo Europeo. Además, los pepinos Persa presentan menor longitud a la cosecha que los del tipo Europeo y Americano. Los criterios para la cosecha de pepino Persa se basan en el color, forma, tamaño y que se encuentren libres de defectos.

Los frutos se cosechan cuando logran un tamaño entre Durante la máxima producción, se cosechan los frutos de 4 a 6 veces por semana durante 7 o 9 semanas, usando tijeras para podar y así evitar dañar el fruto o la planta.

Los frutos de pepino Persa a diferencia de los pepinos Europeos son menos propensos a la pérdida de agua. Sin embargo, son altamente susceptibles a daños por bajas temperaturas durante el almacenamiento. Las recomendaciones de almacenamiento es a temperaturas entre 10 y 12 °C (50 °F) con una humedad relativa entre 85 y 95 %; en estas condiciones los frutos pueden tener una vida poscosecha entre 10 y 14 días (Zamora, 2017).

2.4.3 Producción agrícola del pepino en México

En el año 2020 la producción de pepino en México fue de 1,159,934 toneladas (más del 40.3% en comparación con 2019), las cuales fueron obtenidas de 15,742 hectáreas cosechadas, por lo que el rendimiento promedio nacional osciló en 73.7 toneladas por hectárea. El estado de Sinaloa fue el principal productor de pepino con 342,150 toneladas (29.5%), seguido por Sonora con 262,871 toneladas (22.7%) y Morelos con 81,156 toneladas (7.0%), por lo que estas 3 entidades representaron el 59.2% de la producción nacional (FAOSTAT, 2020).

Las exportaciones de pepino y pepinillo en México presentaron una tendencia creciente de 259 millones de dólares en 2011 hasta los 527 millones en 2018. Del total de ventas el 98.8% fueron para Estados Unidos y el restante 1.2% para Canadá. A nivel mundial México ocupa el tercer lugar como exportador, después de España y Holanda (Opportimes.com, 2019).

2.4.3.1 Producción de pepino Persa en invernadero

El tipo de pepino más cultivado bajo esta tecnología es el tipo Persa el cual necesita un sustrato que mantenga el valor de pH entre 5.5 y 7.5 (Burt, 2007). Si el cultivo requiere de un valor más alto a 7.5 de pH se puede utilizar hidróxido de potasio en

solución o si se requiere un valor más bajo de 5.5 la recomendación es usar ácido fosfórico o nítrico dentro de la solución nutritiva del cultivo (Hochmuth, 1990).

El nitrógeno y potasio son dos minerales requeridos en grandes cantidades. Las aplicaciones de fertilizante en etapas de prefloración y desarrollo o engorde de fruto son consideradas como etapas críticas que requieren de estos minerales.

Esta variedad de pepino puede ser producida utilizando varios tipos de sustratos; dentro de los inorgánicos destaca la lana de roca y la perlita; mientras que en los sustratos orgánicos se encuentra la fibra de coco, la corteza de pino y la turba. También, pueden utilizar una mezcla de perlita con turba en bolsas de polietileno. Independientemente del sistema, debe tenerse en cuenta que la nutrición bien balanceada permite tener el desarrollo adecuado de la planta para optimizar el rendimiento (Lazcano y Domínguez, 2010).

El presente trabajo pretende evaluar el bagazo de agave proveniente de la industria del tequila e inulina para obtener fibra sin compostear, que pueda usarse como sustrato en la producción hortícola bajo condiciones de invernadero y comparar su desempeño en la producción y calidad de pepino contra la fibra de coco que es el sustrato actualmente más utilizado; con la finalidad de reducir el costo de producción hortícola, darle un giro al destino actual del bagazo de agave, así como un valor agregado a este residuo agroindustrial.

3. Justificación

Actualmente el sustrato a base de fibra de coco es el mayormente utilizado en cultivos sin suelo debido a sus propiedades fisicoquímicas, que hacen que sea considerado un material con gran potencial para el desarrollo de hortalizas. Sin embargo, es un producto que se importa, generando altos costos, y el coco mexicano no alcanza la calidad demandada; por otro lado, se ha estimado que en un periodo de 10 años habrá una reducción en la producción de cocoteros de hasta un 80% y sin embargo habrá una demanda mundial de sustratos para el 2030; de tal manera que se deben buscar alternativas en otros materiales de origen orgánico. El agave genera alrededor de 390 mil toneladas de bagazo cada año; una parte se destina a la industria del papel o a la elaboración de fibras industriales, pero su principal destino es dejarlo compostear a cielo abierto representando contaminación ambiental; actualmente se ha propuesto para usarse en la transformación de biopolímeros o biocombustibles; sin embargo, dado la naturaleza química de las fibras éstas pueden tener un potencial uso como sustratos. Hay pocos trabajos donde se ha evaluado este material composteado o mezclado con otros materiales, como turba, con resultados alentadores. Sin embargo, el tiempo de composteado puede ser de 5 a 9 meses requiriendo un espacio físico para dicho proceso o almacenaje. Por lo que en este trabajo de investigación se evaluó el potencial que tiene el bagazo de agave sin compostear y sin ser mezclado con ningún otro material como sustrato para la producción de pepino en invernadero.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Caracterizar el bagazo de agave proveniente de la producción de tequila y de la extracción de inulina para evaluar su potencialidad como sustrato en la producción hortícola de pepino bajo condiciones de invernadero y evaluar la calidad del fruto en poscosecha.

4.2 Objetivos específicos

4.2.1 Evaluar las propiedades físicas y químicas del bagazo de agave proveniente de la producción de tequila y de la extracción de inulina para ser usado como sustrato.

4.2.2 Evaluar y comparar las variables agronómicas de plantas de pepino crecidas en condiciones de invernadero en sustrato de fibra de agave (de la industria de tequila y de inulina) y en sustrato de fibra de coco.

4.2.3 Comparar la calidad poscosecha de los frutos de pepino provenientes de plantas crecidas en sustrato de fibra de agave (de la industria del tequila y de la inulina) respecto de la calidad obtenida con sustrato de coco.

5. Materiales y métodos

5.1 Material biológico

El bagazo de agave generado en la producción de tequila fue proporcionado por una empresa localizada en la zona productora de tequila localizada en Guanajuato. Mientras que el bagazo derivado de la extracción de inulina fue proporcionado de una empresa dedicada a la elaboración del polvo de inulina localizada en el estado de Jalisco. El sustrato de FC fue proporcionado por el Centro de Investigación y Capacitación Koppert Rapel (CEICKOR, ubicado en la carretera Bernal-Ezequiel Montes Km 3, en Colón, Querétaro). Los bagazos fueron transportados a la planta piloto de alimentos de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro para su preparación y análisis correspondientes. Las semillas de pepino utilizadas para evaluar el desempeño de los sustratos en condiciones de invernadero fueron de la marca Seminis de la variedad de pepino mini híbrido SV8046CB, el cual fue proporcionado por CEICKOR.

5.2 Estrategia experimental

El presente trabajo fue dividido en dos etapas. La primera etapa tuvo la finalidad de caracterizar fisicoquímicamente los materiales que fueron utilizados como sustrato. Las pruebas se realizaron tanto en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica de Frutas y Hortalizas de la Facultad de Química en la Universidad Autónoma de Querétaro como en la planta piloto de alimentos de la misma Facultad. Los análisis de extracto saturado para determinar el contenido mineral se realizaron en los laboratorios de Phytomonitor S.A de C.V en Zapopan, Jalisco.

En la segunda etapa se evaluó el desempeño de las fibras a nivel invernadero, considerando las variables agronómicas de la planta de pepino y evaluando la calidad poscosecha de los frutos. El desempeño a nivel invernadero fue realizado en las instalaciones de CEICKOR, en un invernadero de investigación; mientras que el análisis poscosecha fue realizado en las instalaciones del Laboratorio de Fisiología y Bioquímica de Frutas y Hortalizas de la Facultad de Química en la Universidad Autónoma de Querétaro. La Figura 3 muestra la estrategia general que se llevó a cabo durante el experimento.

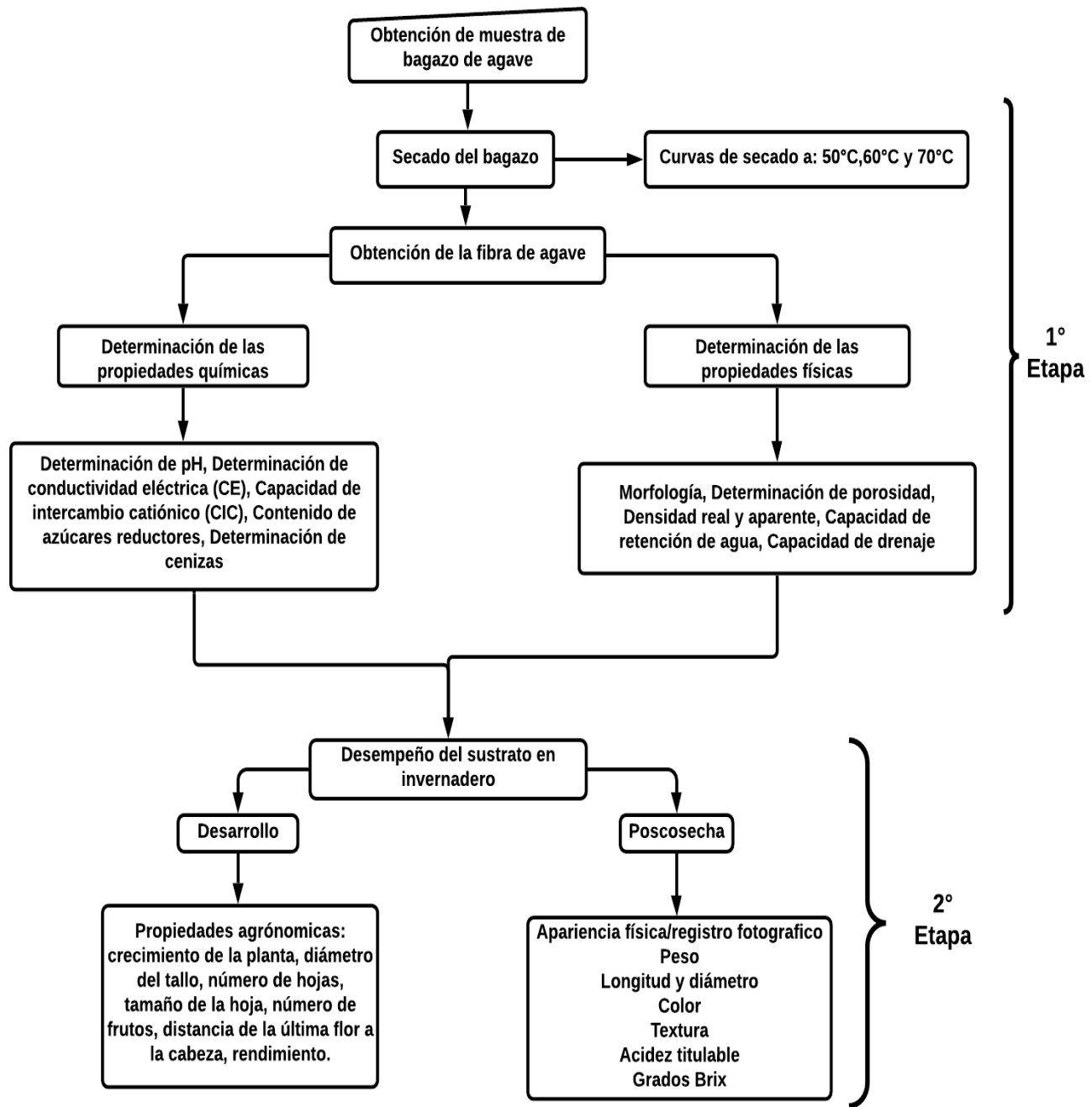


Figura 3. Estrategia general del uso y manejo de las fibras de agave.

5.3 Métodos

5.3.1 Pruebas preliminares y secado del bagazo de agave

El bagazo de agave evaluado en este trabajo se obtuvo de la industria del tequila y de inulina de manera independiente. Las piñas de agave para obtener tequila deben pasar por un proceso de cocción (100-110 °C /40-50 h) para facilitar la extracción de los azúcares que serán obtenidos por un exprimido y filtración y el jugo resultante se somete a la fermentación; el material residual, o bagazo presenta un color café claro a oscuro y puede contener azúcares residuales (Figura 4a). Por su parte para obtener la inulina, el agave se calienta ligeramente (80 °C) se exprime y se filtra, el jugo resultante se seca por aspersion y se obtiene el polvo de inulina, el material residual del exprimido o bagazo es de color blanco (Figura 4b), también puede contener azúcares residuales; de ahí que fue importante determinar su concentración en ambos tipos de bagazo; para esto se les realizó la medición de °Brix en ambos materiales. Cuando los valores fueron mayores a 1 °Brix, se les aplicó un lavado con agua corriente en una proporción de 5 kg de bagazo en un volumen de 20 L de agua.



Figura 4. Apariencia del bagazo de tequila (a) y el bagazo de inulina (b) usado en este trabajo.

El bagazo de agave proveniente tanto de la industria del tequila como de la industria de inulina llegaba húmedo; de aquí la necesidad de secarlo para poder conservarlo.

Para secar los bagazos se evaluaron 3 temperaturas (50, 60 y 70 °C) monitoreando la pérdida de peso a través del tiempo hasta peso constante usando un secador de aire forzado marca Memmert®, modelo UF 450, Alemania. Las muestras secas se conservaron en bolsas de plástico de 20 kg y en un lugar fresco y seco hasta su caracterización física y química de las fibras obtenidas.

5.3.2 Análisis de las propiedades físicas de las fibras

5.3.2.1 Morfología de las fibras de agave y coco

A través de un estereomicroscopio modelo Olympus SZX16 acondicionado con el objetivo 2x se observó los bagazos secos. Se tomó una cantidad suficiente de muestra y se colocó en un plato ajustándose al objetivo del lente. Se tomaron fotos con la finalidad de observar la apariencia de las fibras.

5.3.2.2 Determinación de densidad aparente (norma ASTM D4531-86)

La determinación de la densidad aparente (DA) permite determinar el peso seco del medio con relación al volumen total que ocupa. El método que se usó fue el de la parafina sólida cuyo procedimiento se basa en el principio de Arquímedes (norma ASTM D4531-86). Es decir, el volumen de la muestra sumergida determina el volumen del agua desplazada. Para esto, se realizaron pequeñas figuras de las fibras en forma de terrón o cubo (1 cm^3) que se sujetaron con un hilo para poder sumergirlo a parafina derretida (entre 60 °C y 70 °C; densidad 0.9 g/cm^3) con la finalidad de cubrirlo con varias capas de parafina, posteriormente se dejó solidificar a temperatura ambiente. De este modo se logró evitar que la humedad (H_2O) penetre la muestra (fibra) y saturará los poros. Una vez cubierta la fibra de parafina, ésta se sumergió dentro de una probeta de capacidad de 1000 ml llena con agua destilada y se midió el desplazamiento del agua que ocupa la fibra.

Para determinar la DA se realizan los siguientes cálculos:

1. Peso del terrón seco (Pt)
2. Peso del terrón con parafina (Pa)

3. Volumen del agua desplazada por el terrón o cubo o volumen del terrón con parafina (V_a), considerando una densidad de 1g/cm^3
4. Volumen de la parafina (V_p). Se considera que la densidad de la parafina es de $D_p = 0.90\text{ g/cm}^3$
 $V_p = P_a - P_t$
5. Volumen del terrón

$$V_p = \frac{P_a - P_t}{D_p}$$

$$V_t = V_a - \frac{P_a - P_t}{D_p}$$

Con los datos obtenido se calcula la densidad aparente con la siguiente ecuación:

$$\frac{(P_t)_a}{V_t} = \text{densidad aparente}$$

5.3.2.3 Determinación de la densidad real (Norma UNE-EN 13041:2012)

La densidad real (DR) se calcula como una estimación indirecta a partir de la determinación de la materia orgánica (MO) y del contenido de cenizas (CZ) o material mineral obtenidas en el proceso de calcinación. De acuerdo con lo descrito por De Boodt *et al.*, (1974), el material se calcina a $450 \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, hasta obtener cenizas blancas.

Con los datos de cenizas y minerales se determinó la DR del material aplicando la siguiente ecuación considerando las constantes de los valores reportados en la norma aplicada, para los materiales orgánicos es de 1.45 g/cm^3 y la de las cenizas, como materia mineral, es de 2.65 g/cm^3 .

$$DR = \frac{\left(\frac{\% MO}{1.45}\right) + \left(\frac{\% MM}{2.65}\right)}{100}$$

Donde:

DR = densidad real (g/cm³)

% MO = porcentaje de materia orgánica

% MM = porcentaje de materia mineral

5.3.2.4 Determinación de la porosidad total (Norma UNE-EN 13041:2012)

La porosidad total (PT) de un sustrato es la fracción del volumen de un sustrato que no es ocupada por la parte sólida y por lo tanto puede estar ocupada por aire, o por agua (Tarjuelo, 1999). La PT de cada una de las fibras se determinó de manera indirecta a través de los valores previamente obtenidos de la densidad aparente (DA), la densidad real (DR) y la densidad del agua (1 g/cm³) usando la siguiente ecuación:

$$PT (\%) = \left(1 - \frac{DA}{DR}\right) \times 100$$

Donde:

PT: porosidad total expresada en cm⁻³

DA: densidad aparente

DR: densidad real

5.3.2.5 Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua se determinó según lo descrito por Gayoso-Rodríguez, (2018). Se colocó una muestra de 500 g de cada fibra (peso seco (Ps)) en un contenedor con una capacidad de 1000 mL, al cual se agregó agua destilada

lentamente hasta permitir que la fibra se expandiera y se hidratara completamente, se continuo agregando agua hasta la saturación. La fibra húmeda se colocó sobre un embudo para permitir que drenará el exceso de agua durante una hora a temperatura ambiente. Al final del tiempo se pesó el material húmedo (Ph) y se midió el volumen obtenido de la filtración (V); con estos datos y mediante la siguiente ecuación se estimó CRA:

$$\text{Capacidad de retención de agua (\%)} = \frac{Ph - Ps}{V} \times 100$$

Donde:

Ph = peso húmedo

Ps = peso seco

V = volumen de agua ocupada

5.3.3 Análisis de las propiedades químicas de los sustratos

5.3.3.1 Contenido de azúcares reductores

El contenido de azúcares reductores en las fibras secas de tequila, inulina y coco se determinó a través del método de DNS (Miller, 1959). De manera independiente se cortaron las fibras con unas tijeras y se tomó 1 g de la fibra de agave y de la fibra de coco, mientras que 5 g de la fibra de inulina (esto debido a la baja cantidad de grados Brix que se determinó al inicio como prueba preliminar, por lo cual se requirió más muestra para que fuera detectable en la prueba) y se homogenizó usando un Ultra-turrax T25 en 30 ml de etanol al 80 %. El extracto se conservó en refrigeración por 24 h, posterior al almacenamiento se filtró la muestra con manta de cielo. El filtrado se centrifugo a 10,000 rpm a 20 min a 4°C.

Para la determinación se tomó 0.5 mL del extracto y 0.5 mL del reactivo DNS, después de mezclar se llevó a ebullición en baño maría durante 10 min. Posterior a eso se sometió la muestra a un baño de agua fría con hielo durante 10 min. Se

agregaron 5 mL de agua destilada se agito y se dejó reposar durante 15 minutos. Posteriormente se realizó la lectura de la absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro Lambda 365 de la marca Perkin Elmer. Para la cuantificación se realizó una curva estándar de glucosa con un rango de 0.2 a 2 mg/ 100 mL (Anexo 3).

5.3.3.2 Determinación del contenido de materia orgánica y de cenizas (Norma UNE-EN 13039:2012)

Para determinar el contenido de materia orgánica (MO) y de cenizas se siguió el protocolo de la Norma UNE-EN 13039:2012. Se utilizó una muestra de fibra seca y cortada en pedazos pequeños. Se llevó a peso constante los crisoles de porcelana y se registró el peso de cada uno (M1). Se pesaron 5 ± 0.5 g de material seco en cada uno de los crisoles y se registró el peso (M2). Se llevaron a calcinar en una mufla marca Fisher Scientific, Isotep Muffle Furnance Modelo 550-126 a 450 ± 10 °C durante 4 horas; una vez que lograran la temperatura ambiente dentro de un desecador se pesaron (M3) nuevamente los crisoles.

La materia orgánica (M.O) se expresó en porcentaje y se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$MO (\%) = \frac{M2 - M3}{M2 - M1} \times 100$$

El contenido de cenizas (CZ) o material mineral se expresó en porcentaje y se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$CZ (\%) = \frac{M3 - M1}{M2 - M1} \times 100$$

Donde:

M1 = peso constante del crisol de porcelana

M2 = peso constante del crisol de porcelana mas muestra seca

M3 = peso constante del crisol de porcelana mas muestra calcinada

5.3.3.3 Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE) (Norma UNE-EN 13037:2012 y UNE-EN 13038:2012)

Para determinar el valor de pH se siguió el protocolo de la Norma UNE-EN 13037:2012 y para determinar la conductividad eléctrica (CE) la norma UNE-EN 13038:2012, se pesaron 50 g de trozos pequeños cada una de las fibras a los que les agregó 200 mL de agua destilada para obtener una dilución 1:5 p/v la cual se dejó reposar durante 30 min. De cada uno de los extractos se determinó el pH y la CE. Para la determinación del pH se utilizó un potenciómetro marca Hanna Instruments modelo HI2221 calibrado con las soluciones buffer a pH de 4.0, 7.0 y 10.0. Para la determinación de la CE se utilizó un conductímetro marca Hanna Instruments modelo HI70031 calibrado con la solución de calibrado DE 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de cloruro de potasio trazable de NIST. Un dS/m es equivalente a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.3.3.4 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se realizó por la metodología del acetato de amonio a pH 7.0 (Rhoades,1982; Gilabert de Brito *et al.*, 1990), la cual se basa en la cantidad absorbida de un catión al hacer atravesar una solución que contenga dicho catión a través de una muestra o material. Se pesaron, de manera independiente, 5 ± 0.5 g de cada fibra, posteriormente se le adicionaron 25 mL de solución saturadora (acetato de amonio 1.0 N a pH 7.0) y se dejó en agitación durante 30 min en donde se mezcló para permitir que las fibras absorban el NH_4 . Después la solución se filtró al vacío con un embudo Buchner. El exceso de la solución saturadora de la muestra se lavó con cinco porciones de 10 ml de alcohol etílico al 95% y de agua destilada. Después se lixivió con ayuda de un embudo Buchner y al vacío con cinco porciones de 10 ml de cloruro de sodio al 10% recibiendo en matraces Erlenmeyer de 250 ml. Se agregaron 10 ml de

formaldehído neutralizado y se tituló con hidróxido de sodio 0.1 N utilizando fenolftaleína al 1% hasta obtener un vire de color rosa pálido.

5.3.3.5 Análisis del contenido de minerales en las fibras

El análisis del contenido de minerales en las fibras se realizó de manera externa en el laboratorio Phytomonitor S.A de C.V, para identificar los cationes y aniones presentes en las fibras.

5.3.3.6 Relación Carbono/Nitrógeno

El contenido de nitrógeno total se determinó por el método de Kjeldahl; para esto se pesaron 1 g de cada una de las fibras y se colocaron en el tubo digestor al cual se adiciono 15 mL de ácido sulfúrico concentrado; además se adicionó 0.4 g de sulfato de cobre y 3.5 g de sulfito de sodio como catalizadores. Se dejaron digerir las muestras durante el tiempo necesario (cuando la muestra adquiere una tonalidad verde esmeralda). Después de la digestión, los tubos se dejaron enfriar y se le añadieron 50 mL de agua destilada y 50 mL de NaOH 40%. El amoniaco liberado fue arrastrado por el vapor de agua para recibirse en una disolución de ácido bórico al 4%. La solución se tituló empleando HCl 0.1N, utilizando rojo y verde de bromocresol como indicadores.

Para el cálculo de % de nitrógeno total de las muestras se usó la siguiente formula:

$$\% \text{ nitrógeno} = \frac{(\text{ml HCl} - \text{ml blanco}) \times N}{g (\text{muestra})} \times 1.4$$

Donde:

mL HCl = mL de HCl gastados en la volumetría de la muestra

mL blanco= mL gastados de HCl del blanco

N = normalidad del HCl

g = gramos pesados de la muestra

El contenido de carbono se determinó a partir del valor de % de MO, utilizando el factor de conversión de Van Bemmelen (1890), el cual asume un 58% de carbono dentro de la MO de la muestra a utilizar:

$$\%C = \% M.O \times 5.8$$

Para la determinación de la relación Carbono/Nitrógeno de las muestras, se dividió el % de C entre el % de N.

5.3.4 Elaboración del sustrato a base de fibra de agave

Una vez que se caracterizó fisicoquímicamente la fibra de agave, se pesaron conjuntos de 2600 g para llevarlos a prensar tomando la forma para que ocuparan el espacio de la maceta que se usó en el invernadero.

5.3.5 Pruebas de desempeño del sustrato en invernadero

Se utilizó el cultivo de pepino como modelo de estudio para evaluar el desempeño de la fibra en condiciones de invernadero. Las semillas utilizadas fueron de la marca Seminis de la variedad de pepino mini híbrido SV8046CB, el cual fue proporcionado por CEICKOR. Las semillas se germinaron según el protocolo de la empresa y cuando se lograron plántulas de 20 cm de altura se pasaron a los sustratos en estudio (coco y agave) y se llevaron al invernadero de investigación, en donde se colocaron cuatro plantas en cada una de las macetas; se usaron 27 macetas de cada sustrato. El protocolo de fertilización y riego fue el establecido por la empresa CEIKOR. El Anexo 4 muestra la distribución de las macetas en el invernadero. El invernadero de investigación tenía las siguientes dimensiones; de 25 m x 19.2 m. Se monitorearon las variables agronómicas de crecimiento de la planta, diámetro del tallo, número y tamaño de las hojas, distancia de la última flor a la cabeza, número de frutos y el rendimiento del cultivo.

5.3.5.1 Crecimiento de las plantas y diámetro de tallo

El crecimiento de la planta se determinó con ayuda de un flexómetro, con el cual se tomó la medida desde la base de la plántula hasta el punto más alto de la misma, como se muestra en la Figura 5. Cada semana se marcó el crecimiento de la planta con un plumón en el tutor donde se va sosteniendo la misma; la medición se tomó a partir de la última marca y así sucesivamente hasta el final del ciclo.



Figura 5. Medición de crecimiento de la planta del cultivo de pepino.

El diámetro del tallo se midió con ayuda de un vernier, considerando el tallo entre la segunda y tercera hoja bien desarrollada, como se muestra en la Figura 6a.

5.3.5.2 Número y tamaño de las hojas

El número de hojas se tomó a partir de la primera hoja que se encuentra localizada en la base de la planta, cerca de la maceta y hasta la última hoja bien desarrollada, sin contar las hojas pequeñas de la cabeza.

El tamaño de las hojas se tomó a partir de las hojas que se encontraban en la parte media de la planta, de las cuales se tomó el largo de la hoja, desde la base de la hoja hasta la punta central (Figura 6b).

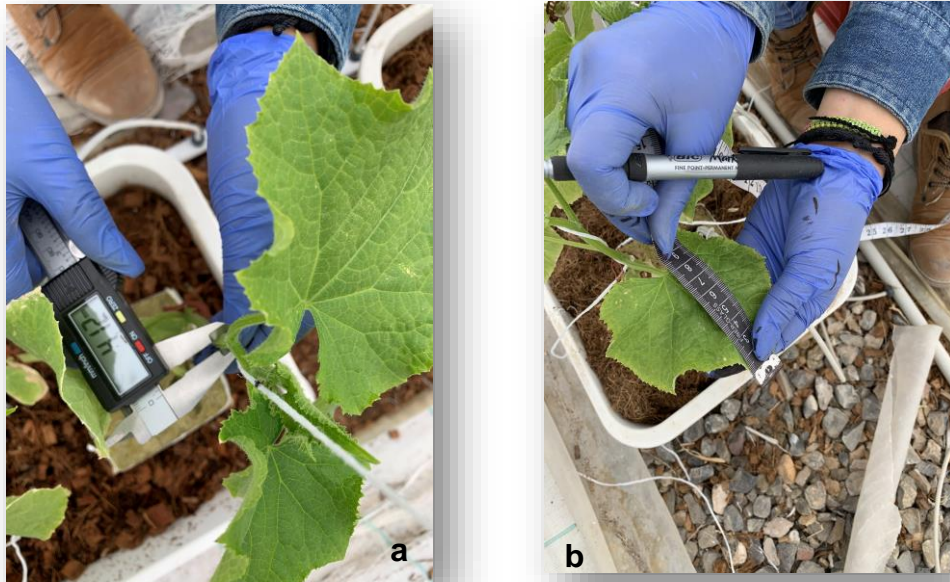


Figura 6. Medición del diámetro del tallo (a) y tamaño de las hojas (b) del cultivo de pepino.

5.3.5.3 Distancia a la última flor, número de frutos y rendimiento

La distancia de la última flor a la cabeza de la planta se tomó a partir del punto más alto de la planta y hasta la floración más cercana a partir de la parte más alta.

El número de frutos se comenzó a registrar a partir de la cuarta semana en invernadero; los frutos a cosechar fueron aquellos que presentaron las características físicas (tamaño) y visuales proporcionadas por el jefe de producción del invernadero. Finalmente, el rendimiento del cultivo se determinó según el número de frutos que se cosecharon a partir de la cuarta semana y hasta la novena semana durante todo el ciclo.

Estas mediciones se realizaron una vez a la semana durante 9 semanas. A su vez se estuvieron realizando periódicamente, el raleo y remoción de zarcillos a cada una de las plantas que fueron parte del experimento; a la par se realizó las mediciones de conductividad eléctrica, pH y porcentaje de drenaje, con estos datos el jefe de producción del invernadero verificaba que la nutrición estuviera dentro de los parámetros establecidos.

5.3.5.4 Determinación de la capacidad de drenaje

Se midió la cantidad de agua drenada en las estaciones de medición establecidas en el invernadero en cada repetición; cada día y en cada unidad experimental, se midió el volumen con una probeta graduada. Para obtener el porcentaje de drenaje se realizó la relación entre el volumen suministrado y el volumen drenado.

$$\% \text{ de capacidad de drenaje} = \frac{\text{Volumen aplicado}}{\text{Volumen drenado}} \times 100$$

5.3.6 Pruebas para evaluar la calidad poscosecha del pepino

5.3.6.1 Selección de frutos para la evaluación de calidad poscosecha

En la semana 9 del cultivo se cosecharon los frutos para ser analizados en su calidad y realizar con ellos el análisis poscosecha. Se seleccionaron frutos del último corte considerando uniformidad en tamaño, madurez fisiológica e integridad aparente (sin daños físicos, fisiológicos o patológicos). Los frutos cosechados se trasladaron al laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro para ser almacenados en un cuarto frío a 12 °C con un HR controlada a 95% (Zamora, 2017). Las pruebas de calidad de los frutos se realizaron cada 4 días durante 12 días. Se analizaban dos frutos de cada tratamiento por triplicado; es decir, para cada fibra se analizaron 18 frutos por día de muestreo.

5.3.6.2 Apariencia física/registro fotográfico

Se realizó un registro fotográfico del pepino para tener una evaluación y una descripción física del pepino.

5.3.6.3 Largo y diámetro

El tamaño y el diámetro del pepino se midieron con ayuda de una cinta métrica y con un vernier. El tamaño o largo se midió desde la parte distal a la frontal de los frutos seleccionados, y el diámetro se realizó en tres puntos, a $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ del tamaño del fruto.

5.3.6.4 Pérdida de peso

La pérdida de peso se evaluó de acuerdo con la metodología descrita por Imaizumia *et al.*, (2018) en donde se registró el peso inicial de todos los pepinos de cada conjunto en una balanza digital OHAUS, Mod YS2101 y el peso final de los mismos en el día de muestreo. La diferencia de ambos pesos se dividió por el peso inicial para expresarla como pérdida de peso en porcentaje relativo, según la siguiente ecuación:

$$\%PP = \frac{(P \text{ inicial} - P \text{ final})}{P \text{ inicial}} \times 100$$

5.3.6.4 Color

El color de los frutos de pepino se determinó mediante el sistema de coordenadas CIE L*a*b (*Commission Internationale de l'Eclairage's (CIE) L*a*b**, 1976), usando un colorímetro Konica Minolta Chroma Meter CR-400 con iluminante D65 y un ángulo de observación de 10°, con el cual se obtuvieron los valores de las coordenadas de color L*, a* y b* y a su vez el valor de Croma y Hue con las siguientes ecuaciones (McLellan *et al.*, 1994):

$$Croma = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

$$Hue = \arctan\left(\frac{b}{a}\right)$$

5.3.6.5 Firmeza

La firmeza de los frutos de pepino se determinó utilizando un texturómetro Brookfield CT3, mediando la prueba de punción (Tanaka *et al.*, 2017) en la cual se utilizó una sonda cilíndrica TA39 2 mm D, 20 mm L con las condiciones siguientes: velocidad de prueba 1.60 mm/s. La prueba se llevó a cabo en dos zonas a lo largo del pepino y se registró la fuerza a la resistencia a la penetración.

5.3.6.7 Contenido de Sólidos Solubles Totales (SST) y determinación de pH

El contenido de sólidos solubles totales (SST) en los frutos de pepino se determinó usando un refractómetro marca HANNA HI 96801 que registra el cambio de dirección de la luz blanca cuando pasa a través de un medio con densidad diferente a la del agua pura; este cambio lo reporta como °Brix AOAC:931.12 (2005). Se obtuvo un extracto exprimiendo un trozo de pulpa de pepino y en el se determinó el valor de pH y los °Bx. Para determinar el valor de pH se usó un potenciómetro marca Hanna Instruments modelo HI2221 calibrado con las soluciones buffer a pH de 4.0, 7.0 y 10.0.

5.3.6.8 Determinación del porcentaje de acidez titulable

Se pesaron 10 ± 0.5 g de la muestra y se determinó la acidez titulable de acuerdo al método del AOAC:939 (2000) utilizando una muestra diluida 1:1 de la pulpa de pepino y agua destilada, la cual se filtró por manta de cielo y al filtrado se añadieron 4 gotas de fenolftaleína (1% en etanol) y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) a 0.1 N hasta obtener un vire de color rosa pálido. La determinación se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ acidez} = \frac{V \text{ NaOH} * N * \text{meq ácido} * 100}{V}$$

Donde:

V NaOH = volumen de NaOH usado para la titulación

N = normalidad del NaOH

Meq ácido= miliequivalentes de ácido. Los valores equivalentes de base a ácido para el cítrico son: 0.064

5.3.7 Diseño y Análisis Estadístico

El invernadero usado constaba de 10 filas con 34 macetas en cada fila. Para el estudio en invernadero se utilizó un diseño completamente al azar; usando 27 macetas por cada sustrato de fibra (Factor de estudio: Fibra de coco (FC), Fibra de inulina (FI) y Fibra de tequila (FT)); estas se dividieron en grupos 9 macetas por triplicado, las cuales se distribuyeron en la parte central del invernadero (Anexo 4) con la finalidad de disminuir los efectos de luz, temperatura de los extremos. A su vez cada maceta se consideró como la unidad experimental y en cada maceta se colocaron cuatro plantas. Las variables de respuesta fueron el crecimiento de la planta, el diámetro del tallo, número de hojas, tamaño de las hojas, distancia de última flor, número de frutos y rendimiento.

Para la evaluación poscosecha de los frutos de pepino, las variables de respuesta fueron: apariencia, pérdida de peso, textura, color, °Brix y acidez titulable.

Todos los análisis se realizaron por triplicado usando el análisis de varianza (ANOVA); si se encontraron diferencias significativas, las medias se compararon con la prueba de Tukey $p < 0.05$. Estos análisis se realizaron en el software JMP versión 6.

6. Resultados y discusión

6.1 Secado del bagazo de agave

Con la finalidad de evitar que el proceso de composteo en el bagazo comenzará debido a que estaban húmedos, se procedió a secar las muestras. De manera general los tiempos de secado para ambas muestras de bagazo fueron menores a mayor temperatura. Las Figuras 7 y 8 muestran la pérdida de peso para el bagazo de inulina y de tequila respectivamente. Los resultados indican que la humedad inicial del bagazo de tequila (BT) fue de 63.33%, mientras que para el bagazo de inulina (BI) fue de 82%. El tiempo necesario para secar el BT fue de 2 horas a cualquier temperatura; mientras que para el BI, al tener más humedad se requirió 2 h a 70 °C; 4 h a 60 °C y hasta 5 h en la condición a 50 °C.

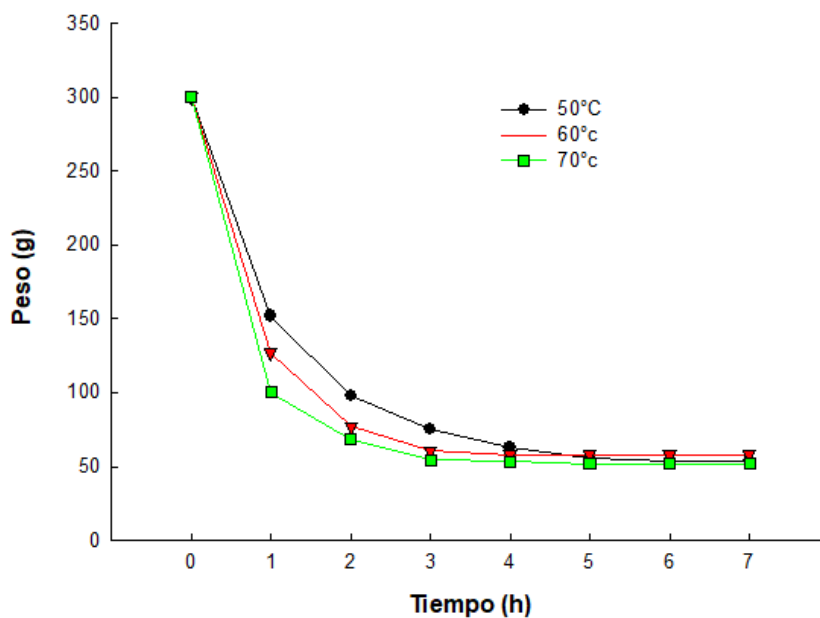


Figura 7. Pérdida de peso durante el secado del bagazo de inulina a 50 °C, 60 °C y 70 °C.

El contenido de humedad diferente en ambos bagazos, a pesar de provenir del mismo tipo de agave, puede ser debido a los diferentes procesos a los cuales fueron sometidas; el BT proviene de una cocción de las piñas de agave en horno a

110 °C; una vez que se muelen las piñas, el bagazo resultante tiene una temperatura de 80 °C, que al momento de enfriarse hasta temperatura ambiente comienza a perder agua.

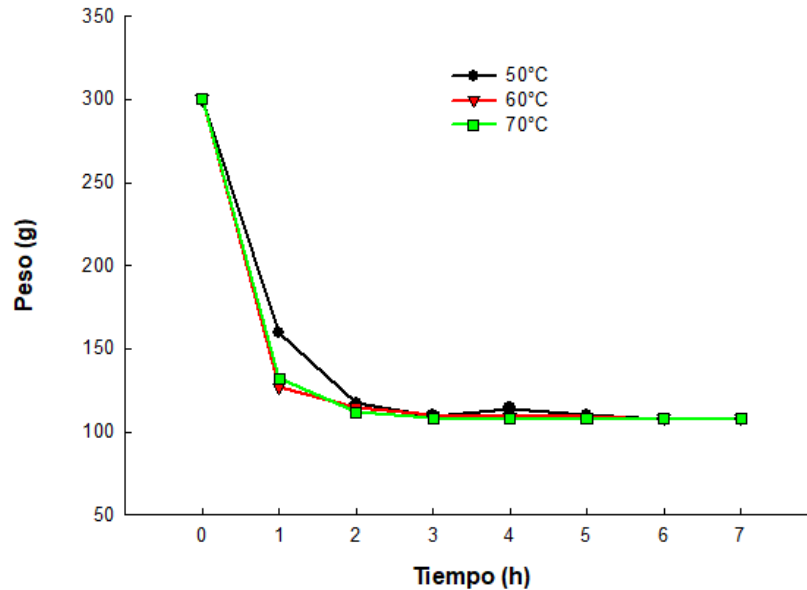


Figura 8. Pérdida de peso durante el secado del bagazo de tequila a 50 °C, 60 °C y 70 °C.

6.1.1 Determinación de grados Brix

A las muestras frescas (sin secar) se les determinó el contenido de azúcares residuales a través de °Brix. El bagazo de agave proveniente de tequila presentó un contenido de °Brix de 3.53 ± 0.02 ; mientras que el bagazo de inulina de 1.06 ± 0.01 °Brix; por lo que fue necesario someter a un lavado con agua corriente. Como ya se encontraban las muestras secas se usó una proporción de 5 kg por 20 L de agua y se logró disminuir a 0.63 ± 0.02 °Brix. Nuevamente se procedió a secarlos en las condiciones establecidas y las muestras secas se denominaron fibras. Por su parte la FC comercial usada en este trabajo viene compactada de manera que se sometió a un remojo para lograr expandirla, tal como lo recomienda la propia marca; este se realizó en una proporción de 5 kg de fibra compactada por 20 L de agua. La

determinación del contenido de °Bx en la fibra inicial fue de 0.083 ± 0.01 °Bx, y una vez hidratada se redujo a 0.5 ± 0.02 °Bx.

6.2 Análisis de las propiedades físicas del bagazo

6.2.1 Morfología de las fibras de agave y coco

En los siguientes análisis se incluyó la FC comercial usado en CEICKOR. La Figura 9 muestra que los tres materiales tienen una apariencia similar respecto a la forma; es decir se aprecian como fibras delgadas y alargadas, estas características son comunes en fibras lignificadas, tal como lo reporta Kestur *et al.*, (2013) quienes observaron en microscopia electrónica de barrido fibras de agave cocido, de tequila; ellos reportan que se tratan de fibras vegetales que muestran una disposición longitudinal de un gran número de fibrillas, con material vinculante y en el interior presentan enrollamiento helicoidal de las microfibrillas. Aunque los autores reportan que la longitud de las fibras esta entre 10 a 12 cm; se sabe que este tamaño dependerá del corte que se haga a la cabeza o piña de agave. En el presente estudio, las fibras de agave presentaron longitudes de 15 cm en la FI y de 10 cm en las de FT usando un vernier; mientras que las FC presentaron longitudes más pequeñas, las cuales van desde el polvillo, chips o trozos y fibras propiamente dicho con longitudes de 2 cm. En la microfotografía, se observa que la fibra de inulina presenta una morfología diferente respecto de las otras dos fibras; ya que no se observa el material adherido a la fibra como se ve en la FC y FT.

Los materiales que se usan como sustrato para la producción hortícola en macetas o contenedores, deben proporcionar soporte a la planta y permitir el suministro de agua, aire y nutrientes para el adecuado desarrollo de las raíces y por ende de las plantas (Burés, 1997). Las características físicas similares entre las fibras de agave con la de coco hacen suponer que los materiales en estudio tendrían la capacidad de dar un buen soporte para poder ser utilizados como sustrato en cultivos en invernadero. Sin embargo, el sustrato debe cumplir con ciertos requerimientos en sus propiedades físicas y químicas.

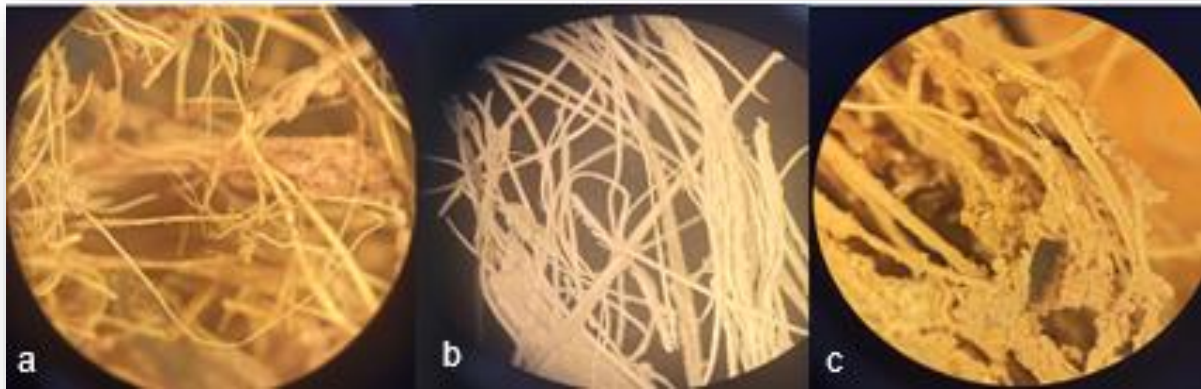


Figura 9. Observación en microscopio Olympus SZX16 con el objetivo 2X, a) Fibra de coco; b) Fibra de agave-inulina y c) Fibra de agave-tequila.

6.2.2 Caracterización física de las fibras

Las propiedades físicas que usualmente se determinan en los sustratos para su uso en invernadero son la densidad real (DR) y densidad aparente (DA), el espacio poroso, la capacidad de retención de agua (CRA) y el porcentaje de drenaje. En el Cuadro 3 se resumen los resultados obtenidos de la caracterización física de los tres tipos de fibras.

Cuadro 3. Propiedades físicas de la fibra de coco (FC) y fibra de agave (Fibra de inulina= FI; Fibra de tequila= FT)

| Parámetro físico | Tipo de fibra | | |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | FC * | FI | FT |
| DR (g/cm ³) | 1.47 ± 0.005 ^b | 1.51 ± 0.01 ^a | 1.49 ± 0.005 ^{ab} |
| DA (g/cm ³) | 0.41 ± 0.046 ^a | 0.18 ± 0.012 ^b | 0.19 ± 0.012 ^b |
| Porosidad total (%) | 72.01 ± 3.317 ^b | 92.0 ± 6.847 ^a | 87.27 ± 0.051 ^a |
| CRA (%) | 83.83 ± 6.658 ^a | 40.47 ± 6.027 ^c | 66.53 ± 8.185 ^b |
| % drenaje | 33.75 ± 4.630 ^b | 57.98 ± 11.514 ^a | 34.91 ± 4.474 ^b |

*Fibra de coco comercial. Los valores representan la media ± la desviación estándar. Cada valor con diferente letra indica diferencia significativa con la prueba de Tukey y con un nivel de confianza de 95%.

6.2.2.1 Densidad real de las fibras

La densidad real (DR) indica la relación entre la masa seca de un material y el volumen que ocupa sin contar el espacio poroso. Debido a que los materiales estudiados son de origen orgánico estos tienden a tener una DR baja debido a su bajo contenido de minerales. De acuerdo con Zapata *et al.*, (2005), los valores considerados ideales de DR oscilan entre 1.45–2.65 g/cm³, según Noguera *et al.* (2003) los materiales orgánicos deben tener en promedio 1.50 g/cm³.

Las fibras de agave presentaron valores similares entre ellas y ligeramente más altos que en la FC; y aunque el análisis estadístico muestran diferencias entre la FI y la FC (1.47, 1.49 y 1.51 g/cm³, para la FC, FT y FI, respectivamente); las 3 fibras se encuentran dentro de los valores ideales reportados por Zapata *et al.*, (2005), por lo que se puede decir que el volumen que podría ocupar el material en la maceta ayudará a que el cultivo tenga un buen soporte y un buen espacio entre las partículas del material y las raíces del cultivo.

6.2.2.2 Densidad aparente de las fibras

La densidad aparente (DA) o densidad de sustrato seco, es la relación que hay entre el peso de las partículas del material y el volumen aparente que ocupan y que considera el espacio poroso del mismo (Cabot, 2012). En este estudio, las 3 fibras presentaron valores por debajo de 1 g/cm³; el cual es el valor ideal de acuerdo con Urrestarazu (2004); sin embargo, las fibras de agave presentaron valores estadísticamente menores que la FC (Cuadro 3). Comparando estos resultados con lo que reportó Martínez *et al.*, (2013), quienes evaluaron el bagazo de maguey composteado en diferentes tiempos, demostraron que, entre más tiempo de composteado, el valor de la DA se eleva. Dado que en el presente trabajo las fibras de agave sin compostear presentaron valores bajos, nos da una idea de que la compactación y la distribución de las partículas de este material puede ser útil sobre todo para facilitar el transporte y el manejo de este en el cultivo. En otras palabras, el bajo valor de DA no limitará el crecimiento de las raíces de las plantas porque su tendencia a compactarse será baja, lo que permitirá un adecuado desarrollo de la

planta (Quesada y Bertsch-Hernández, 2012). Aunque también indicará un mayor drenado de agua y por tanto mayor necesidad de riegos.

6.2.2.3 Porosidad total

La porosidad total (PT), también descrita como espacio poroso total se refiere a la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar libremente (Abad, *et al.*, 1993). Los valores recomendados para este parámetro en un buen sustrato oscilan entre 85 y 90% (Zapata *et al.*, 2005). Las fibras de agave presentaron valores de PT significativamente más altos (FI= 92%, FT= 87.27%) que la FC (72.01%) (Cuadro 3). Crespo *et al.*, (2013) realizaron un trabajo el cual utilizaron bagazo de agave composteado mezclado con polvo de coco y turba. El porcentaje de bagazo composteado evaluado fue de 10, 30, 50, 70 y 100%. Sus resultados indican que entre mayor proporción de bagazo composteado es menor la PT; a 10% de bagazo composteado la PT fue de 91.3% mientras que a 50% de bagazo fue de 81.3% y a 100% de bagazo composteado fue de 70.2%. Los mismos autores reportan que el polvo de coco (100%) presentó 95.8% de PT y la turba (100%) de 92.7% PT. Con base a lo anterior, el valor obtenido de PT en las fibras de agave de tequila sin compostear se encuentra dentro de los intervalos adecuados (87.27%); mientras que la FI al presentar un valor mayor a 90% puede sugerir que se tendrá mayor cantidad de agua de drenaje y esto puede ser un problema en el invernadero.

6.2.2.4 Capacidad de retención de agua de las fibras

La capacidad de retención de agua (CRA) nos puede indicar la cantidad de riegos que necesitará un cultivo según sus requerimientos hídricos. Los sustratos con retenciones de agua superiores a 50%, se consideran adecuados como un sustrato hortícola (Guzmán, 2003, citado por Quesada y Méndez, 2004) ya que se requerirán menos riegos y por ende se tendrá una mejor eficiencia del agua en el invernadero. Los valores de CRA de las fibras presentaron diferencias significativas entre ellas. La FC mostro valores significativamente mayores (84%), seguido de la FT (67%) lo cual las ubica como fibras adecuadas para el cultivo en condiciones de

invernadero, pues superan el 50% requerido (Guzmán, 2003, citado por Quesada y Méndez, 2004). Por su parte, la FI registró el valor más bajo (41%) lo cual pudiera indicar que este sustrato no sería tan recomendable para su uso como tal.

El valor alto de CRA mostrado por la FC (84%) se puede deber a la presencia de partículas de menor tamaño a las propias fibras, denominadas como chip y polvillo, este último puede ser el que se observa en la Figura 9a. De manera similar, la FT muestra esas estructuras acorchadas que quizás sean responsable del valor de CRA mostrado (67%); por su parte, la FI no presenta esas estructuras y tal vez sea la causa del bajo valor de CRA (41%).

Una característica de la FC comercial es la heterogeneidad de proporciones y tamaños entre lotes (Figura 10); el sustrato de coco se compone de fibra propiamente dicha, además de agregados denominados chips y polvillo. Estos materiales se prensan para facilitar su transporte y una vez en el invernadero se hidratan aumentando su volumen de 5 a 9 veces.



Figura 10. Diferentes tamaños de partícula que se encuentran en la fibra de coco comercial.

En el presente trabajo se evaluó la fibra de agave como se obtiene de la molienda; es decir con la geometría obtenida por el molino usado. Recordando que se lavaron para disminuir el contenido de °Brix y se secaron; de manera que se trata de fibras secas que no presenta heterogeneidad en geometrías; es decir están formadas

principalmente por fibras con muy poca presencia de polvillo, pero sin formas tipo chip. Aunque el costo de producción de esta fibra puede ser bajo, dado que es un residuo agroindustrial, se puede proponer la posibilidad de modificar la molienda de la piña de agave con la finalidad de obtener diferentes geometrías, especialmente tipo chip y en particular en la FT. Por otro lado, el bagazo de agave composteado ya no presenta las características fibrosas sino más bien se trata de un material con apariencia degradada y dependiendo del tiempo de composteo se pueden perder propiedades físicas como la CRA tal como lo indica Crespo *et al.*, 2013, ya que agave composteado por 5 meses presento una CRA de 43.1%; por lo cual en este trabajo se usaron las fibras de agave sin compostear para la prueba en invernadero. Por otro lado, la FC comercial debe lavarse para eliminar fenoles y lograr una conductividad eléctrica (CE) menor a 1.0; en el caso de las FT e FI no se realizó la determinación de fenoles totales; sin embargo, existen reportes que indican que la composición de bagazo de agave esta dado principalmente por la presencia de celulosa, hemicelulosa y lignina (González *et al.*, 2005; Kestur *et al.*, 2013). Los azúcares residuales pudieran ser un problema en el invernadero, ya que pueden sostener el desarrollo de hongos; por lo cual se recomienda que las fibras se laven antes de establecerse en el invernadero.

6.3 Caracterización química de las fibras

El Cuadro 4 resume los resultados de las propiedades químicas de los tres tipos de fibras analizadas.

6.3.1 Contenido de materia orgánica de las fibras

El contenido de MO en las fibras de agave fue de 90% (FI) y 92% (FT) y de 99% en la FC, los cuales son superiores a lo reportado por Abad *et al.*, (2004), quienes indicaron que el valor de MO para un sustrato adecuado debe $MO > 80\%$; en este sentido las 3 fibras evaluadas superan el contenido de MO. Por su parte, Crespo *et al.*, (2018), compararon la MO en polvo de coco, turba, bagazo de agave composteado y mezclas de polvo de coco con bagazo de agave composteado (30:70; 50:50; 70:30), según sus datos, el composteo del bagazo de agave reduce

considerablemente el valor de MO ya que reportan un 37.83%; lo cual representan un 43% menos que la MO en el bagazo de agave sin compostear encontrado en el presente trabajo. El contenido reportado por los autores en MO en el polvo de coco fue de 91.80% el cual disminuye al aumentar la proporción de agave composteado, las mezcla 30:70; 50:50; 70:30 reportaron valores de 48.20, 45.20 y 37.80%.

Cuadro 4. Comparación de medias de las propiedades químicas de la fibra de coco (FC) y fibra de agave (fibra de inulina=FI; Fibra de tequila=FT).

| Parámetro químico | Tipo de fibra | | |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Coco* | Inulina | Tequila |
| Materia organica (%) | 98.64± 0.32 ^a | 90.26 ± 1.167 ^c | 92.26 ± 0.404 ^b |
| Cenizas (%) | 1.35 ±0.32 ^c | 9.66 ±1.158 ^a | 7.07 ±0.440 ^b |
| pH | 5.06 ± 0.085 ^a | 5.18 ± 0.036 ^a | 4.05 ± 0.081 ^b |
| CE (dS/cm) | 0.76 ± 0.057 ^a | 0.40 ± 0.057 ^b | 0.46 ± 0.04 ^b |
| CIC (meq/100g) | 68.54 ± 1.976 ^a | 33.54 ± 2.994 ^b | 25.21 ± 0.339 ^c |
| Azúcares reductores (g/mg) | 1.72 ± 0.372 ^b | 1.15 ± 0.068 ^b | 7.48 ± 0.241 ^a |
| Relación C:N | 206.9 ± 17.609 ^a | 97.5 ± 8.481 ^b | 109.2 ± 7.993 ^b |

*Fibra de coco comercial lavada. Los valores representan la media ± la desviación estándar. Cada valor con diferente letra indica diferencia significativa con la prueba de Tukey y con un nivel de confianza de 95%.

Durante el composteo del bagazo de agave sucede un proceso de mineralización (Day y Shaw, 2005) que disminuye la MO debido a que el carbono se pierde en forma CO₂, los microorganismos del suelo obtienen la energía necesaria para realizar sus procesos metabólicos de la degradación de la MO, mediante el rompimiento de los enlaces de las macromoléculas orgánicas provenientes de los residuos del bagazo de agave; aumentando la proporción de minerales que

posteriormente, a través de reacciones químicas de oxidación e hidrólisis, son oxidadas catabólicamente a compuestos inorgánicos, donde estos pueden ser inmovilizados en el material, volatilizados al aire, lixiviados a las aguas profundas, o absorbidos por las plantas y los microorganismos (Varma, 2017; Sánchez de Prager *et al.*, 2006; Ordoñez *et al.*, 2016). Dado que el parámetro de MO es de suma importancia para un adecuado fijamiento de los macronutrientes que requiere el cultivo (Abad *et al.*, (2004); es importante mantener un valor superior a 80% por lo cual indica que se debe usar el bagazo de agave sin compostear.

6.3.2 Contenido de cenizas de las fibras

El contenido de cenizas en un sustrato indica la presencia de minerales; este valor es importante conocerlo ya que nos permitirá determinar el ajuste en la nutrición según las necesidades del cultivo. El contenido de cenizas entre las fibras varió considerablemente; la FC presentó un contenido de cenizas significativamente menor (1.35%); respecto de las fibras de agave 7.07% (FT) y 9.66% (FI). Rodríguez-Narva (2013) evaluó las propiedades químicas del bagazo de agave sin compostear, obteniendo un valor de 11.40%. Por su parte, Satyanarayana *et al.*, (2013) reportaron un valor de $5.30 \pm 0.0.7\%$ de cenizas en fibra de agave cocido.

6.3.3 pH de las fibras

Los valores de pH de las fibras variaron de 4.05 a 5.18; siendo la FT la que mostró el menor valor de pH y la FI el mayor (Cuadro 4). Los valores entre la FC y la FI fueron estadísticamente iguales. Serrano, (2004) reporta que el rango óptimo de pH de un sustrato debe de estar entre 5.5–6.5, mientras que Maher *et al.*, (2008) reportan que varía entre 4.8 y 6.9; ambos autores indican que, en estos valores, sobre todo en la etapa temprana de los cultivos en invernadero, los macronutrientes como el nitrógeno y el fosforo, que son esenciales para su desarrollo, son fácilmente asimilables para la planta. El pH del bagazo de agave sin compostear obtuvo un valor de 4.72, el cual está dentro del intervalo entre los resultados de la FT y la FI. En cambio, los valores de pH reportados por Crespo *et al.*, (2018), muestra que el bagazo de agave composteado presentó valores de pH elevados,

esto debido a que durante el composteo ocurre la descomposición de las proteínas generando una liberación de amonio, aumentado a valores de pH hasta 8.5; sumado a la generación de carbonato de calcio como resultado de la combinación del carbonato (producto de la reacción de $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) con el calcio liberado del material vegetal en proceso de descomposición. Estos resultados sugieren que es mejor usar el bagazo de agave sin compostear como sustrato debido a que presentan valores de pH más cercanos al ideal. Existen diversos materiales usados como sustratos con valores de pH por debajo de 5.0, entre ellos la turba, el compost de corteza de pino que han sido usados en la producción hortícola; sin embargo, el valor de pH debe ser ajustado antes de establecer el cultivo; para esto se puede adicionar calcita hasta lograr obtener el pH óptimo para el cultivo en cuestión (Bárbaro *et al.*, 2018).

6.3.4 Conductividad eléctrica de las fibras

La conductividad eléctrica (CE) es una propiedad del material que mide la totalidad de las sales disueltas en la solución de fertirriego y su capacidad de conducir corriente eléctrica al cultivo. A mayor concentración de sales en el sustrato, mayor es la CE; para evitar la toxicidad en el cultivo y facilitar el manejo de la fertilización el valor recomendado debe estar igual o menor a 1 dS/m (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Bárbaro *et al.*, 2018). Las fibras de agave mostraron valores significativamente menores con respecto a la FC; la FC presentó un valor de 0.76 ± 0.057 dS/cm; mientras que la FT fue de 0.46 ± 0.04 dS/cm y la FI de 0.40 ± 0.057 dS/cm. Rodríguez *et al.*, (2010) reportaron que el bagazo de agave composteado durante 130 días incrementó su valor de CE (1.59 dS/m) comparado con el bagazo de agave no composteado (0.20 dS/m), esto debido al proceso de mineralización de los materiales orgánicos. También, en el trabajo de Crespo *et al.*, (2018) se reporta que el tiempo de composteo del bagazo de agave incrementa la CE hasta 1.11 dS/m; lo cual sugiere la necesidad de compostear. Este mismo autor señala que el coco tiene una CE de 0.31 dS/m y la turba de 0.24 dS/m. Las fibras de agave utilizadas en esta investigación no fueron composteadas, y presentaron un valor de la CE menor al

recomendado, lo que implica que se debe ajustar dicho valor con la solución nutritiva.

6.3.5 Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) nos indica la capacidad que tiene el material en cuestión de la disponibilidad de los cationes que requiere el cultivo para su desarrollo. Harada *et al.*, (1981) sugieren que el valor ideal de CIC es > 60 meq/100g. La FC presentó valores significativamente mayores de CIC (68.54 ± 1.976 meq/100g) respecto de la FI (33.54 ± 2.994 meq/100g) y la FT (25.21 ± 0.339 meq/100g), y similar al valor de referencia; mientras que las fibras de agave no presentaron más del 50% de la recomendación. Crespo *et al.*, (2018) reportaron valores variados de CIC de las muestras de mezclas de bagazo de agave previamente composteado, teniendo valores entre 84.5 y 110.4 meq/100g; más altos que el valor de referencia. Se ha reportado que los materiales de origen orgánico, por su naturaleza, poseen una elevada CIC (Crespo *et al.*, 2018). Esto nos sugiere que el valor de la CIC puede variar dependiendo el grado de madurez en el proceso de composteado. Dado que las fibras de tequila e inulina utilizados en este trabajo de investigación no fueron composteadas, el valor de la CIC se vio afectada, dado que durante el proceso de composteado ocurre la degradación de la materia orgánica a tal grado que cuando se madura correctamente el composteado, este llega a encontrar un equilibrio entre las propiedades del material y la materia orgánica e inorgánica. Los resultados sugieren que un composteo controlado puede favorecer la CIC de las fibras de agave.

6.3.6 Contenido mineral en las fibras

El Anexo 5 resume la información del contenido mineral en un extracto saturado de cada fibra donde se reportan los cationes y los aniones presentes en las mismas. Es de gran importancia conocer los materiales presentes, preferentemente los minerales, ya que de esto afectará la composición inicial de la solución nutritiva y permitirá decidir modificaciones o correcciones que se tengan que realizar para no afectar el ciclo de vida de la planta. Los estudios de absorción contabilizan la

extracción o consumo de nutrientes de un cultivo para completar su ciclo de producción y contribuyen a dar solidez a los programas de fertilización, permitiendo conocer concretamente la cantidad de elementos nutritivos que es absorbida por un cultivo para producir un rendimiento dado, en un tiempo definido (Bertsch, 2005).

Los análisis de minerales, indicaron que la FC, en comparación de las fibras de agave (FI y FT) contiene bajos niveles de nitratos (NO_3^-), de fosfatos, de calcio (Ca^+) y magnesio (Mg^{+2}); por lo contrario, presenta el doble de concentración de cloruros; y como era de esperarse, el nivel de sodio en la FC es de 60 ppm comparados con 5 y 9 ppm de FI y FT, respectivamente, debido a la salinidad del origen de su producción; lo cual requiere de muchas horas de lavado para bajar ese nivel; ya que una alta concentración de cloro puede provocar una disminución en el rendimiento del cultivo (Fageria, 2001). Por otro lado, las fibras de agave presentan mayores contenidos de calcio y magnesio. El calcio es un elemento estructural en la planta; constituye la lámina media, las paredes y membranas de la célula, además, participa en la división y extensión celulares, influye en la compartimentalización de la célula, modula la acción de hormonas y señales, estabiliza la pared y membrana y contribuye al equilibrio iónico de la célula (Marschner, 1986).

6.3.7 Contenido de azúcares reductores

El contenido de azúcares reductores (AR) fue necesario determinarlo debido al origen de las fibras de agave. Los azúcares reductores pueden promover la degradación prematura de las fibras de agave. La FC y la FI presentaron los menores valores de AR ($1.72 + 0.14$ g/mg y $1.15 + 0.14$ g/mg, respectivamente) representando un 28% y 14% menos de AR que la FT que reporto valores de $7.48 + 0.14$ g/mg; este alto valor de AR es explicado por que durante la cocción de las piñas se induce una hidrólisis de los fructanos dejando fructosas libres. Los valores obtenidos en esta investigación son parecidos a los reportado por Rigal, (2015) quien reporto azúcares libres en bagazo de agave fresco (1%) y agave seco (12%), siendo similares los valores del bagazo de agave seco con las fibras de bagazo de

agave lavadas y secas. La disminución del contenido de AR en la FT se logró con lavados con agua corriente hasta un valor de 1 o 2 g/mg.

6.3.8 Relación de carbono/Nitrógeno

En la relación C/N, es la relación que existe entre el contenido de carbono y de nitrógeno en el material. Las fibras de agave presentaron valores estadísticamente significativos ($p < 0.05$), teniendo que la FT con valores de 109.2, la FI con 97.5 y la FC con un valor de 206.9. Rodríguez *et al.*, (2010), reportaron que el bagazo de agave sin compostear obtuvo mayor valor de la relación C/N, comparados con los otros bagazos de agave composteado y mezclado con otros materiales, esto debido a que las fibras de estos materiales no fueron degradadas en su totalidad. Independientemente, de los ya reportado por Rodríguez *et al.*, (2010) en conjunto con la investigación actual, las fibras de agave (FT y FI) presentaron valores considerados como adecuados de acuerdo con Abad y Noguera (1998) que se encuentran en el intervalo óptimo (relación C/N > 30). Por lo que sugiere que las fibras de agave (FI y FT) llegan a ser materiales estables y con gran contenido de fibra para ser utilizados como sustratos. La importancia de este parámetro es que los valores de estos macronutrientes deben de encontrarse en la proporción ideal para asegurar su estabilidad del material. La relación C/N indica el grado de degradación biológica que puede presentar un sustrato orgánico; una relación de C/N < 30 implica que los materiales pueden sufrir un proceso de transformación biológica (mineralización y humificación), por el contrario, una relación C/N mayor a 40 sugiere una menor actividad biológica; incluso cerca de 85 la estabilidad del sustrato es mayor ya que la actividad biológica es casi nula, Bueno *et al.*, citado por Crespo *et al.*, (2018).

6.4 Variables agronómicas del cultivo de pepino en invernadero

6.4.1 Crecimiento de las plantas en invernadero

El crecimiento de la planta de pepino (Figura 11) se determina por la altura de la planta que a su vez está relacionada con la elongación del tallo ya que es ahí donde ocurre el transporte de nutrientes; y está influenciada por los factores ambientales

como la: luz, temperatura y humedad relativa (Somarriba, 1998). De manera general, el crecimiento o altura de las plantas se observó de manera lineal y sin diferencias en las primeras 3 semanas en invernadero en los tres tipos de fibras. A partir de la 4ta semana las plantas del sustrato de FC presentaron un tamaño discretamente más alto que las plantas de los sustratos de agave. Las plantas cultivadas en FC a partir de la semana 6 presentaron un crecimiento del 5-10% mayor que las plantas en fibra de agave. Las plantas que crecieron en los sustratos de FI presentaron un menor tamaño estadísticamente diferente ($p < 0.05$) en comparación con las plantas de sustratos de FC, pero similares a las del sustrato de FT. Rodríguez-Narváez, (2013) usando el cultivo de pepino evaluó diferentes tipos de sustratos (fibra de coco comercial) comparándolo con el bagazo de agave composteado, obteniendo un mayor crecimiento de la planta los que fueron sembrados en fibra de coco comercial y teniendo valores inferiores los de bagazo de maguey. Teniendo un comportamiento similar a las fibras evaluadas en este trabajo. Nuevamente los datos parecen sugerir la importancia del composteo

6.4.2 Diámetro de tallo

El diámetro del tallo (Figura 12), describe el grosor que la planta va desarrollando y depende del tipo de cultivo, de las condiciones ambientales en la que se encuentre y de las condiciones nutricionales que se le esté proporcionando a la planta. En este caso las plantas sembradas en FC tuvieron los valores más elevados en cuanto a grosor; sin embargo, al principio del ciclo de cultivo (3 semanas) el desarrollo de las plantas en los sustratos de las tres fibras estudiadas fue similar. A partir de la cuarta semana del ciclo se empezó a percibir la diferencia entre las plantas que crecen en los sustratos de fibra de agave y la FC; en la que se observa que ambas fibras de agave tienen valores similares de grosor de tallo; pero las plantas desarrolladas en la FC presentan un diámetro mayor y estadísticamente diferente ($p < 0.05$). A pesar de las diferencias, hubo un crecimiento homogéneo de las plantas en los tres tipos de fibras (Figura 11), relacionándolo con el tipo de nutrición que recibieron las plantas por lo que se mantuvo un equilibrio en cuanto a los parámetros de pH (5.5-6.5) y CE (2.8-3.0).

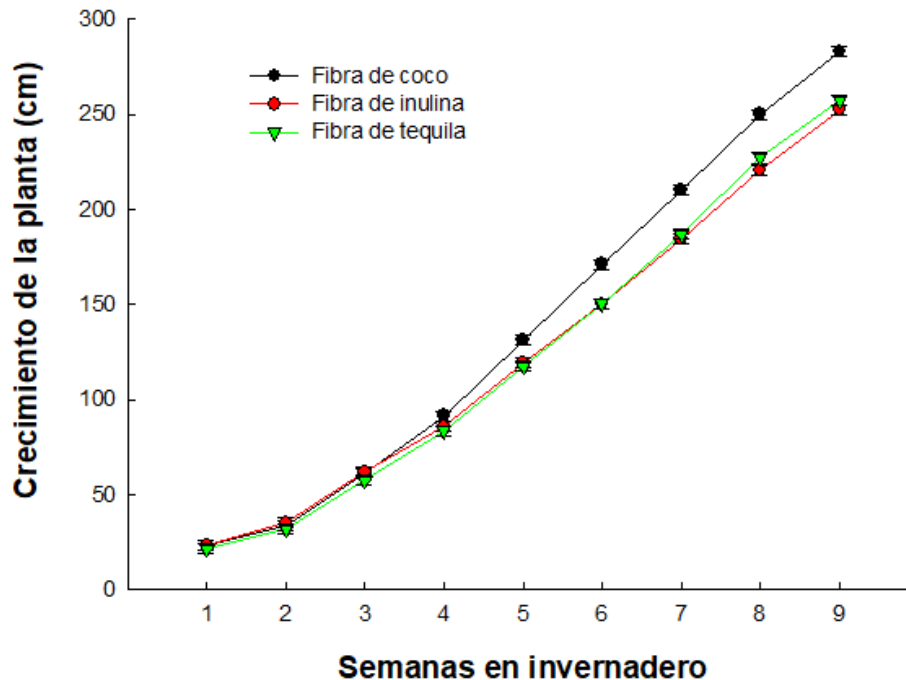


Figura 11. Crecimiento de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave.

En cuanto a las características físicas, dado a los valores de porosidad se observó que, por una buena aireación de la raíz en las plantas de los tres tipos de fibras, por lo cual no afectó a su crecimiento; de igual manera la CRA fue suficiente para que no afectara su adecuado desarrollo en los tres tipos de fibras. Es importante resaltar que el ensayo se realizó en un invernadero que contaba con un solo sistema de riego; de manera que a pesar de que las fibras con menor CRA drenaran más agua y por ello la frecuencia de riegos tendría que haberse aumentado, se mantuvo el mismo riego con la finalidad de evaluar el sustrato en las mismas condiciones. En la semana siete se observa una disminución del grosor, esto debido a una adecuación en cuanto a la cantidad de luz que ocurrió en el invernadero, por lo que hubo una variación de la cantidad de radiación que recibió

la planta lo cual afecto a su vez el grosor del tallo en esa semana. Rodríguez-Narváez, (2013), reporto la medición promedio del diámetro del tallo de la planta de pepino; el estudio arrojó que la planta sembrada en la fibra de coco comercial se obtuvo un valor mayor de diámetro del tallo (9.17) que las plantas de bagazo de agave (8.15), teniendo un comportamiento similar a la investigación actual.

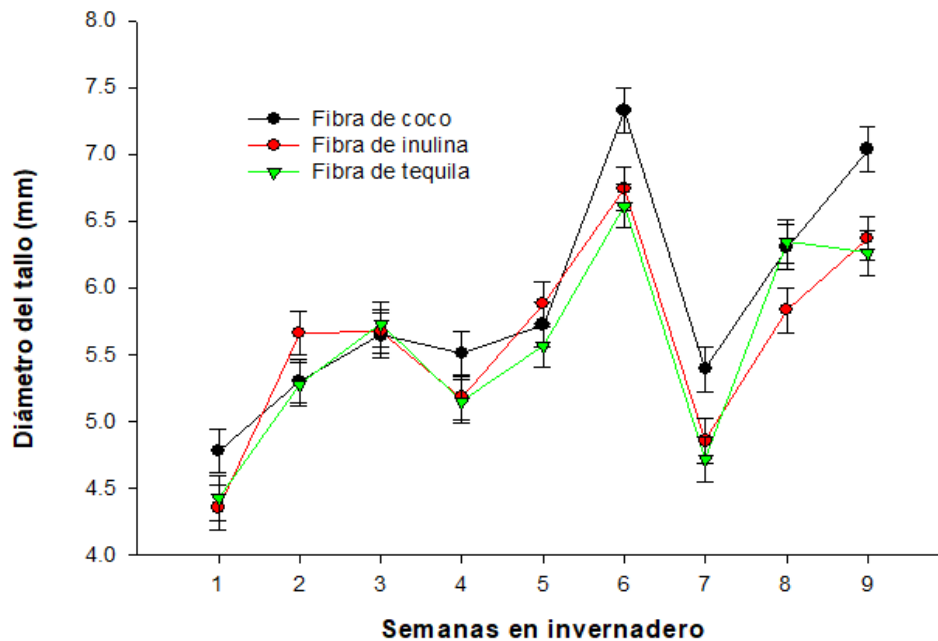


Figura 12. Diámetro de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave.

6.4.3 Número y tamaño de las hojas

El número y tamaño de hojas de las plantas sembradas en los tres tipos diferentes de fibras se muestran en las Figuras 13 y 14. Estas variables son relevantes ya que nos da una idea de la capacidad fotosintética que puede tener la planta. En cuanto al número de hojas no hubo diferencias estadísticas significativas; sin embargo, el tamaño de las hojas fueron diferentes a partir de la 3ra semana, las hojas de las plantas sembradas en la de FC fueron un 7% más grandes que las de las plantas de FI y FT; y al final del ciclo fueron 14% más grandes que las hojas de las plantas crecidas en FI, pero estadísticamente igual que las de FT ($p < 0.05$). A pesar de las

diferencias en el tamaño no se apreció un efecto importante en el cultivo; se puede decir que la eficiencia fotosintética no se vio afectada por lo que el cultivo tuvo un desarrollo normal independientemente del sustrato.

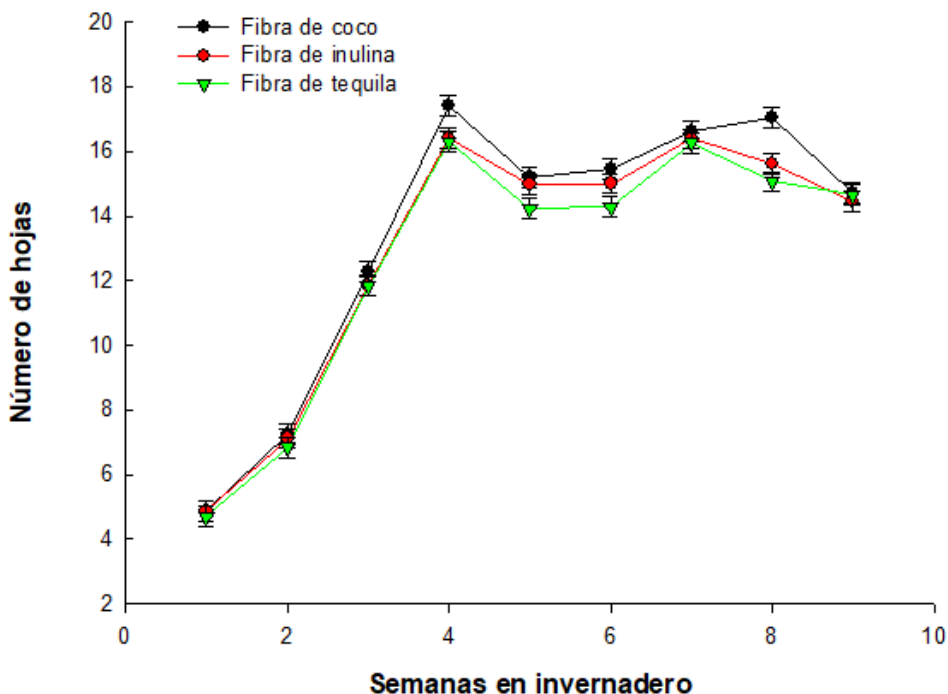


Figura 13. Numero de hojas de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave.

Durante la semana 7 se observó un incremento del número de hojas en los tres tratamientos, causado por la posible adecuación del invernadero durante esa semana, en la cual se aplicó una capa de pintura esto para controlar la cantidad de radiación que llegaba al interior del invernadero, repercutiendo en el número de hojas debido a las necesidades fotosintéticas de la planta en esa etapa del cultivo. Las plantas sembradas en FT durante la mayor parte del ciclo fueron las que se contaron pocas hojas en el cultivo.

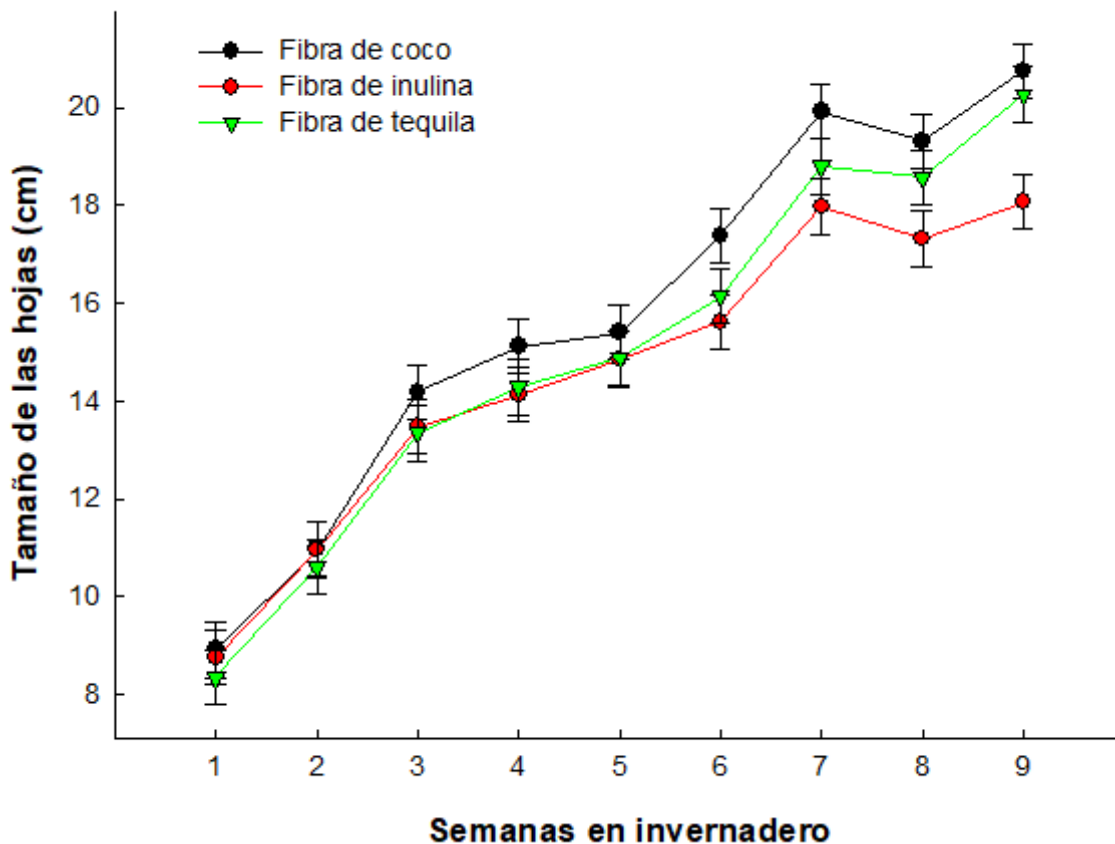


Figura 14. Tamaño de las hojas de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave.

En cuanto al tamaño de las hojas, existen diferencias estadísticamente significativas. Se observó el mismo comportamiento de tamaño de hoja durante todo el ciclo de cultivo independientemente del tipo de fibra utilizada. A partir de la semana 6 del ciclo, se observó un menor tamaño en las hojas, se observaron un 10% más pequeñas las FI comparadas con la FT y la FC. Siendo esa diferencia mucho más notoria al final del ciclo del cultivo.

La CRA pudo haber sido una de las propiedades físicas que pudieran estar relacionadas con la diferencia de tamaños en cuanto a la FI, ya que el tamaño de las hojas dependerá de la disponibilidad de agua que la planta tenga, y debido a

que la CRA de la FI presentó valores bajos, fue un factor para haber obtenido tamaños de hojas más pequeños comparados con la FT y la FC.

6.4.4 Distancia a la última flor

Las plantas de pepino, independientemente del sustrato donde se desarrollaban, iniciaron su floración a partir de la semana 3 sin mostrar diferencias entre los sustratos (Figura 15). A partir de la 4ta semana no se observaron diferencias entre las plantas en las fibras de agave, pero si entre ellas con las que crecían en la FC. En la semana 5 y 6 se observó que las plantas que crecían en las fibras de agave no presentaron el mismo número de flores que las plantas de la FC; sin embargo, a la semana 7 la intensidad de floración disminuyó de manera importante en todas las plantas y hasta terminar el ciclo (semana 9). La floración está relacionada con la polinización para que en la planta pueda ocurrir una fecundación, y que a su vez a partir de esa fecundación se generen los frutos. Por lo que el número de frutos con la medición de la presencia de la floración en el cultivo están relacionados; determinado número de flores habrá determinado número de fecundaciones, y por lo tanto determinada cantidad de frutos.

6.4.5 Numero de frutos y rendimiento del cultivo

En relación con el número de frutos (Figura 16) se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las plantas de sustrato de FI con las de sustrato de FC; no así con las del sustrato de FT. A partir de la semana 4 del ciclo de cultivo se presentaron los primeros frutos de este, siendo cosechados dos veces por semana. Se puede observar que nuevamente el comportamiento de los frutos provenientes de la fibra de agave fue similar a la FC; siendo de igual manera la FI la que presenta menos cantidad de frutos durante todo el ciclo. La disminución del número de frutos en la semana 6 y 7 del ciclo ocurrió probablemente por una operación previa en el invernadero por lo que la cantidad de frutos fueron menores en los días establecidos de cosecha.

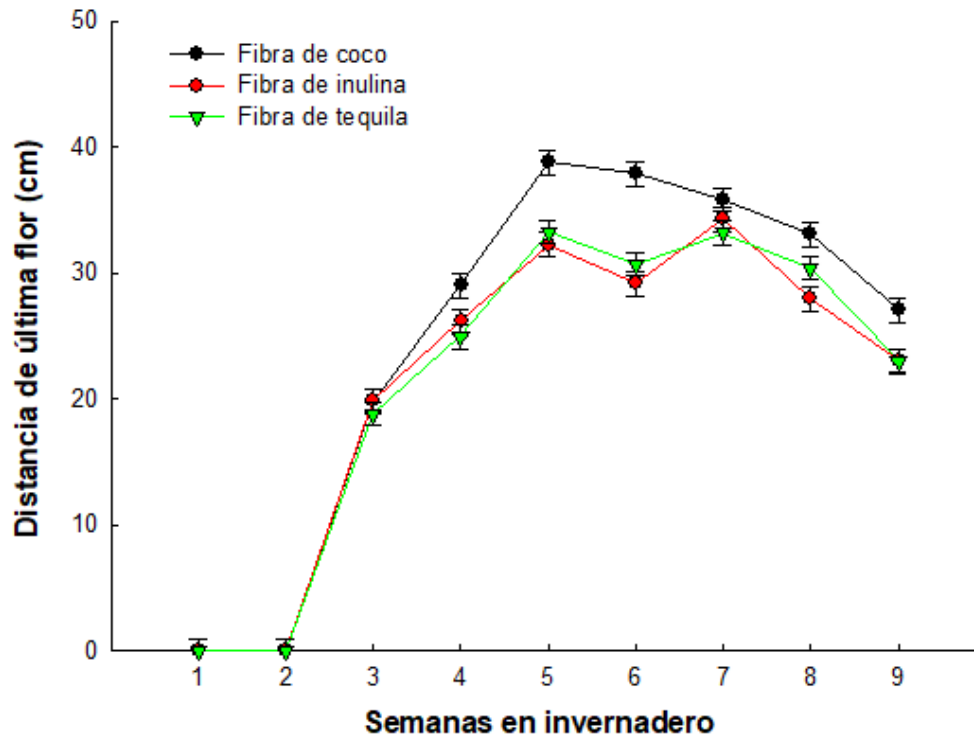


Figura 15. Distancia de la última flor de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave.

El estudio reportado por Vázquez *et al.*, (2014) indica que el rendimiento en cultivo de pepino desarrollado en condiciones de malla sombra y con sustrato de 3% de estiércol solarizado, así como en vermicomposta-suelo franco y 60% de arena fue de 23.66 y 29.86 ton ha⁻¹ respetivamente. La SAGARPA (2010) reporta un rendimiento en cultivo de pepino de 33.41 Ton ha⁻¹. La Figura 16 muestra el estimado en el rendimiento de la producción de pepino en los tres tipos de sustratos; como se puede observar el rendimiento es similar para los tres tipos de sustratos. Lo que supone que las fibras de agave pueden ser materiales con potencial para ser explotados como sustratos para la producción hortícola bajo condiciones de invernadero. En el rendimiento de esta investigación no se mostraron diferencias significativas en cuanto a los valores entre los tres diferentes tipos de fibras (FC=23,935, FI=22,696, FT=22,653 kg/m²/semana); esto concordó con lo reportado con Rodríguez-Narváez, (2013).

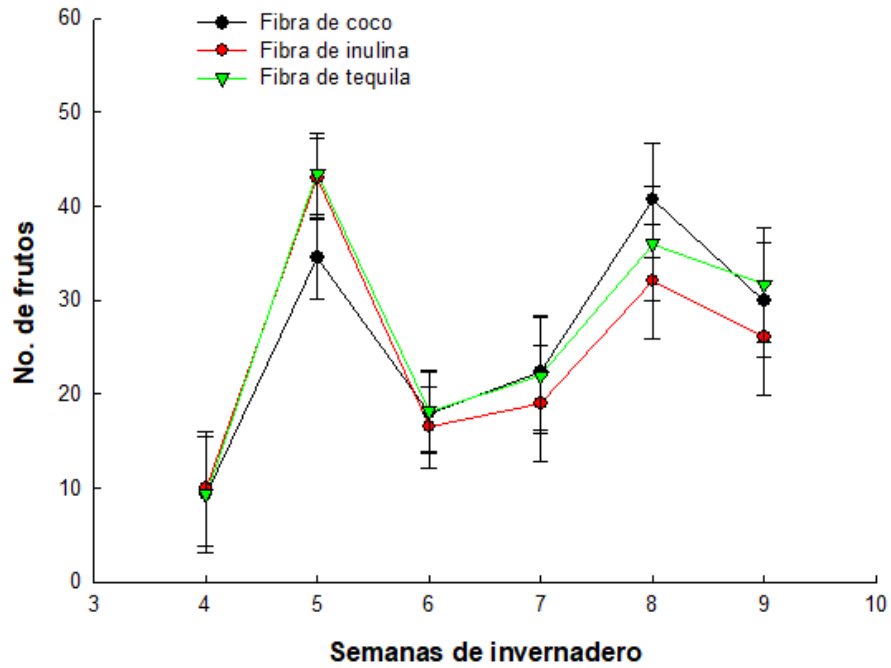


Figura 16. Numero de frutos de plantas de pepino durante 9 semanas en sustrato de fibra de coco y fibra de agave.

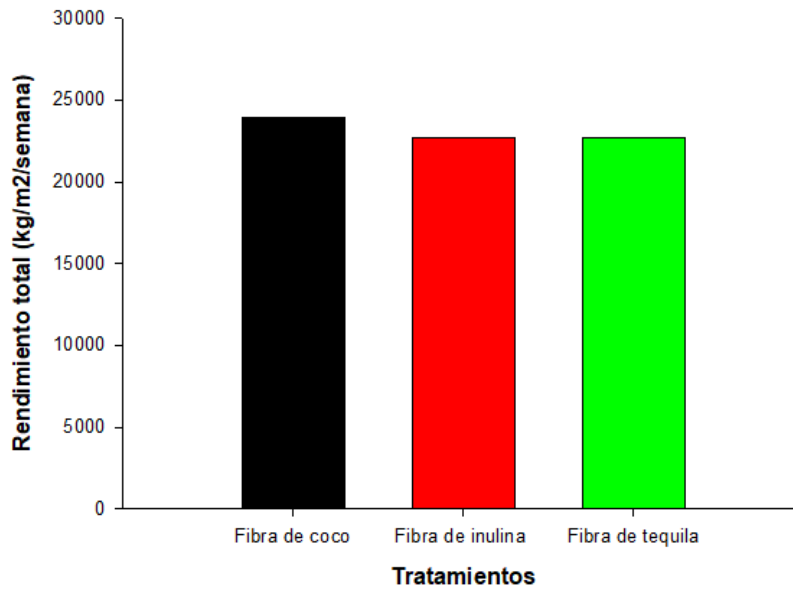


Figura 17. Rendimiento total del cultivo de pepino en kg/m²/semana de los diferentes tratamientos.

6.4.6 Capacidad de drenaje

El porcentaje de drenaje en el invernadero nos indica la cantidad de agua proveniente del riego que la planta no absorbe. El porcentaje de drenaje debe de manejarse adecuadamente y ser el óptimo para satisfacer las necesidades de la planta y al mismo tiempo no provocar un derroche de agua y nutrimentos (Sánchez *et al.*, 2014). Este parámetro nos da una idea de la cantidad de riegos que pudiera requerir un cultivo. De los materiales evaluados, la FI presentó el valor más elevado con 57.98%, en comparación con las fibras de FC y FT con 33.75% y 34.91%, respectivamente. Estos hallazgos sugieren que la FI no es un buen material para ser utilizado como sustrato debido a un mayor número de riegos que necesitaría para sostener un cultivo.

En cuanto a la FT, a pesar de tener un 34.91% de capacidad de drenaje similar a la FC (33.75%) y tener una CRA menor (66.53%) que la FC (83.83 %), ésta fue suficiente para poder abastecer las necesidades hídricas del cultivo; y es mayor a la reportada para fibra de agave composteada (43.1%; Crespo *et al.*, 2013). La estabilidad física de los sustratos es una condición que permite mantener casi sin alteración sus características durante el ciclo del cultivo en maceta (Jiménez & Caballero, 1990)

Al término del ciclo de cultivo se observaron las raíces de las plantas de las diferentes fibras (Figura 18). Se evidencia que debido al bajo valor de la CRA de la FI, comparada con la FC y la FT, se observó que el desarrollo de las raíces fue diferente. Debido a la baja CRA de la FI, las raíces en esta fibra crecieron hasta la parte más baja de la maceta buscando captar la mayor cantidad de agua posible para el desarrollo del cultivo (Figura 18c). Mientras que las raíces de las plantas en la FT y la FC (Figura 18a y 18b), se desarrollaron de manera inmersa en cada sustrato; es decir, en la parte central de las fibras en donde se almacena el agua proveniente del riego. También esta característica señala que la FI no es un buen candidato para usarse como sustrato.

En cuanto a la relación de las propiedades químicas y físicas de las fibras de FC y FT , se observó un crecimiento óptimo, los requerimientos nutricionales de la planta no se vieron afectados debido al crecimiento homogéneo por lo que los valores de pH, CE y CIC se mantuvieron en equilibrio sin provocar algún tipo de estrés a la planta. Por lo que la fibra de agave proveniente de la industria de tequila no afecta de manera negativa el crecimiento de la planta durante su ciclo; no así la fibra de inulina .

6.5 Calidad poscosecha de los frutos de pepino

6.5.1 Apariencia de los frutos

La apariencia física de los pepinos obtenidos de las distintas fibras se observa en la Figura 19. De manera general se observa que los pepinos presentan características típicas de la variedad; es decir frutos de color verde oscuro, bien llenos y rectos; aunque los frutos de FT y FI muestran un cierto grado de curvatura y aparentemente presentan un tamaño (largo) y ancho ligeramente más grandes que los pepinos producidos en FC; sin embargo el análisis de los datos sugieren que no hay diferencias estadística significativa principalmente en el tamaño ($p < 0.05$) (Figura 19), mientras que el diámetro, la alta variabilidad de los datos entre los 3 tratamientos hace no se perciban diferencias (Figura 20 y Figura 21). De acuerdo a Zamora, (2017) los frutos de esta variedad de pepino se cosechan cuando alcanzan un tamaño entre 12 y 14 cm o entre 17 y 20 cm de largo, con un diámetro de 4 cm. Dado el ciclo del cultivo y la rapidez con la que la planta y los frutos se desarrollaron, los pepinos fueron cosechados cuando el tamaño era de aproximadamente de 16 - 17 cm. Ortega, (2017), reporta que obtuvo una longitud promedio de 23 cm y con un diámetro de 4.22 mm, en los pepinos sembrados con fibra de coco, valores mucho mayores de los obtenidos en este estudio con la fibra de agave y que de acuerdo a Zamora, (2017) se encuentran dentro del rango de calidad.

6.5.2 Pérdida de peso

La pérdida de peso en los frutos de pepino durante su almacenamiento a 12 °C con 82% HR afecta su calidad, ya que está directamente asociada con la tasa de respiración, la velocidad de transpiración de los frutos y repercute en la pérdida de la firmeza de los frutos debido a la pérdida de turgencia celular. Los frutos, independientemente del sustrato utilizado, se colocaron en bolsas de plástico, con la finalidad de evitar la pérdida de humedad por transpiración; es decir por la difusión del vapor de agua debido a un gradiente de presión entre el interior y el exterior del fruto (Galiotta *et al.*, 1998).



Figura 18. Apariencia del desarrollo de las raíces de plantas de pepino después de 9 semanas en los distintos tipos de fibras, a) Fibra de tequila, b) Fibra de coco, c) Fibra de inulina.



Figura 19. Apariencia física de los pepinos sembrados en distintos tipos de fibras.
 A) Fibra de coco; B) Fibra de inulina; C) Fibra de tequila.

Los resultados se muestran en la Figura 22, de manera general, durante el tiempo de almacenamiento, se pudo observar el mismo comportamiento de los pepinos independientemente de la fibra donde creció la planta.

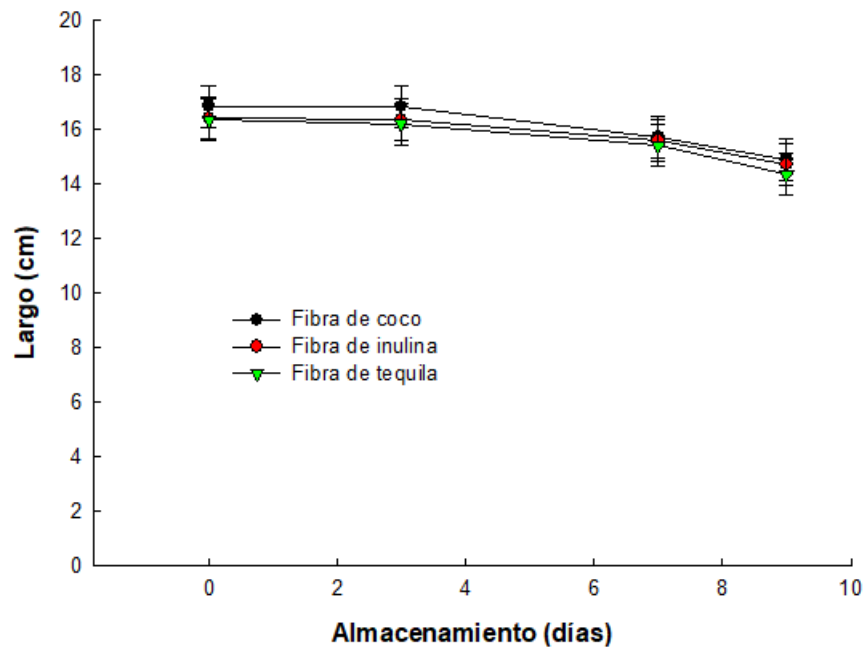


Figura 20. Largo de los pepinos durante 9 semanas de almacenamiento.

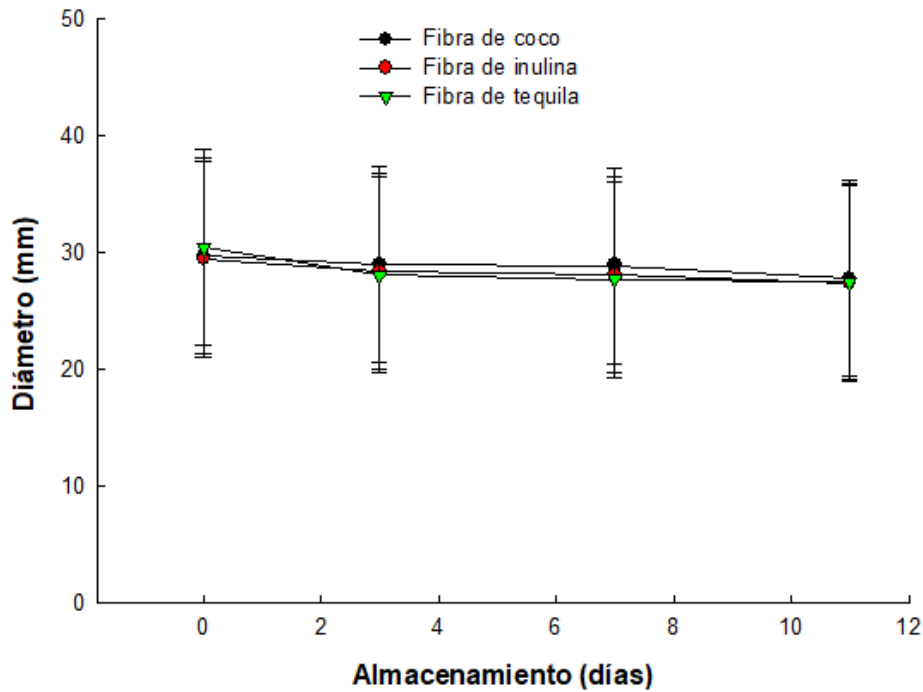


Figura 21. Diámetro de los pepinos durante 9 semanas de almacenamiento.

A pesar de que la firmeza inicial de los pepinos provenientes de la FT fue menor que los de FI y FC, al final del almacenamiento la pérdida de peso fue similar entre ellos. Se ha reportado que la calidad comercial de frutos de pepino se demerita considerablemente cuando se tiene una pérdida de peso superior al 5% (Ben-Yehoushua (1987).

6.5.3 Firmeza

La firmeza es una variable importante en la calidad poscosecha, a su vez es un indicador de madurez y de aceptación organoléptica para el consumidor final (Barraza-Álvarez, 2015). La firmeza inicial de los pepinos cosechados de los 3 sustratos no mostro diferencias significativas. Se puede observar en la Figura 23, que la firmeza promedio fue de 28 a 30 N; la cual se mantuvo en promedio en los frutos que provenían de FT sin cambios hasta el día 7 y hasta los 11 donde terminaron con una firmeza de 27 N; por su parte, los pepinos de la FI perdieron firmeza de manera discreta a los 3 días de almacenamiento y se mantuvieron así

hasta los 11 días donde se registraron valores de firmeza de 28 N, finalmente los pepinos de FC registraron una disminución de la firmeza en el día 7 (26.5 N) y hasta los 11 días de almacenamiento; siendo los pepinos de FC los que presentaron más pérdida de firmeza (10%) en comparación con los provenientes de las fibras de agave (4%).

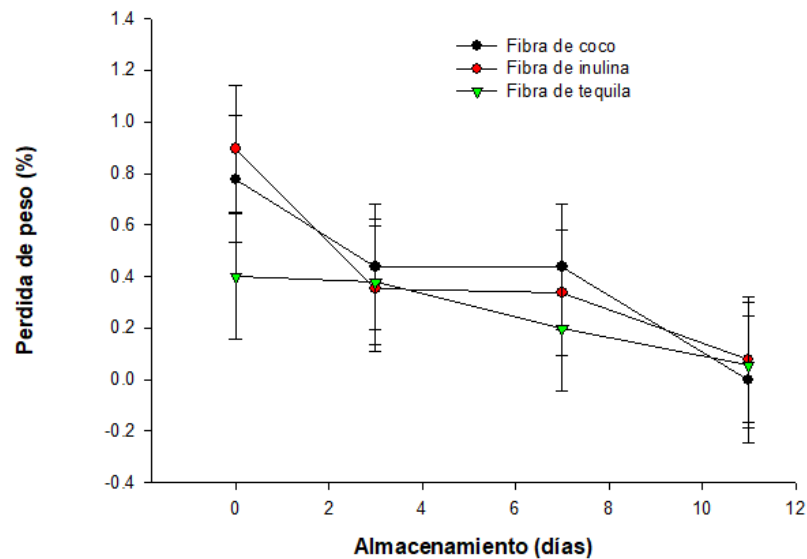


Figura 22. Porcentaje de pérdida de peso del pepino durante 9 días de almacenamiento.

La pérdida de firmeza se puede caracterizar por la deshidratación del fruto mismo, generando así la susceptibilidad a deformaciones, pudriciones, y amarillamiento, esto debido a la mayor pérdida de agua de las células por transpiración (Verheul *et al.*, 2013). A pesar de que el empaque ayuda a evitar la pérdida de firmeza de los frutos, se observó en los pepinos una ligera disminución de tamaño, al igual que un ligero cambio de color el cual conforme pasaban los días de almacenamiento, el color verde característico del fruto iba disminuyendo. De igual manera, en los empaques con los pepinos dentro se observó una condensación de los frutos, como

parte de la pérdida de agua y de la deshidratación del mismo fruto. Los frutos de FI y FT mantuvieron una mayor firmeza respecto de la FC. Esto puede ser relevante; sin embargo, es importante encontrar las posibles causas de este comportamiento ya que sugiero que las fibras de gave sin compostear pueden tener unefceto positivo en la textura de los frutos. Nuevamente el crecimiento que genera los frutos curvos podría ser la explicación a ello.

6.5.4 Color

El parámetro de color es un indicador de calidad poscosecha importante ya que nos puede mostrar, entre otras cosas, el estado de madurez en la que se encuentra el fruto. A su vez este estado de madurez definido por el índice de color y por el conjunto de características sensoriales como es el olor y sabor, están asociados con la decisión de compra del consumidor final.

El brillo natural de los frutos de pepino se expresa por los valores de L*. Los frutos de los tres tratamientos presentaron valores similares alrededor de 33 a 34.5; siendo los frutos de pepino provenientes de FT ligeramente más brillantes, Cuadro 5. Como era de esperarse, los valores de a* indicaron valores negativos (-7.95 a -8.47), mostrando que los pepinos presentan tonalidades verdes; típico de la variedad de pepino. En cuanto a los valores de b* se obtuvieron valores positivos (16.7 a 19.00) se puede evidenciar que los pepinos alcanzaron el color en la escala 2 (light green), según la escala de la USDA (1999); se aprecia que los pepinos desarrollados en la FC presentaron tonalidades ligeramente más verdes.

6.5.5 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (SST), en productos hortícolas suelen expresarse como °Brix, pues se asume que la mayoría de esos sólidos solubles son azúcares simples; sin embargo, pueden participar en ellos los ácidos orgánicos, vitaminas solubles, minerales y compuestos solubles de bajo peso molecular (Chacón-Padilla, 2020).

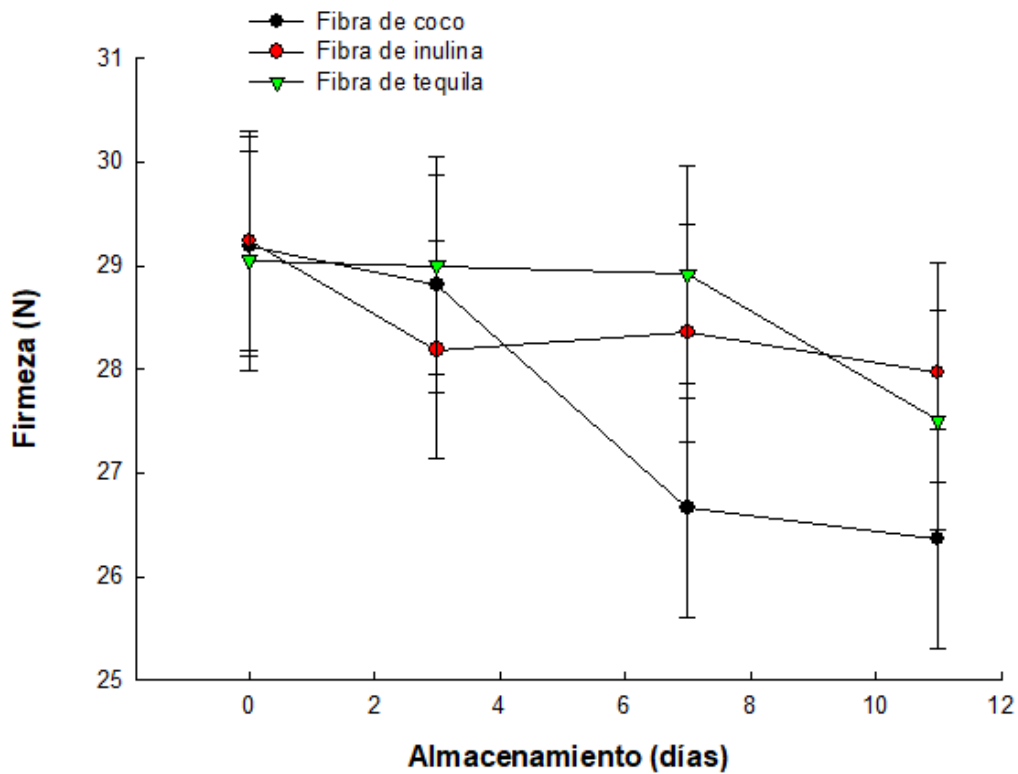


Figura 23. Firmeza expresada en Newtons del pepino durante 9 días de almacenamiento.

Cuadro 5. Coordenadas color de frutos de pepino cultivado en diferentes fibras.

| | Valores de L | Valores de a* | Valores de b* |
|---------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Coco* | 33.99 ± 2.39 ^a | -8.47 ± 0.52 ^b | 19.00 ± 1.54 ^a |
| Inulina | 33.35 ± 2.40 ^a | -7.95 ± 0.719 ^a | 16.76 ± 1.97 ^b |
| Tequila | 34.49 ± 2.45 ^a | -8.25 ± 0.42 ^{ab} | 18.16 ± 1.97 ^a |

*Fibra de coco comercial. Los valores representan la media ± la desviación estándar. Cada valor con diferente letra indica diferencia significativa con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los pepinos por ser frutos no climatéricos (Suslow y Cantwell, 1997) pueden presentar valores de SST bajos (2.97–3.57; Moreno *et al.*, 2015), por lo que este parámetro no podría tener cambios significativos en el proceso de maduración; en

este trabajo los valores fueron mayores a los reportados por Moreno *et al.* (2015) y oscilaron entre 4.7 y 5.6, siendo menores en los pepinos de FT y FC y mayores en los de FI; estos valores disminuyeron durante el almacenamiento con una mayor tendencia en los pepinos de FT ($^{\circ}\text{Bx} = 4.2$), seguido de los pepinos de FI; sin mostrar diferencias significativas con los pepinos de FC ($p < 0.05$) (Figura 24). Sin embargo, pareciera que el metabolismo de los pepinos de las fibras de agave es más acelerado que los de los de FC.

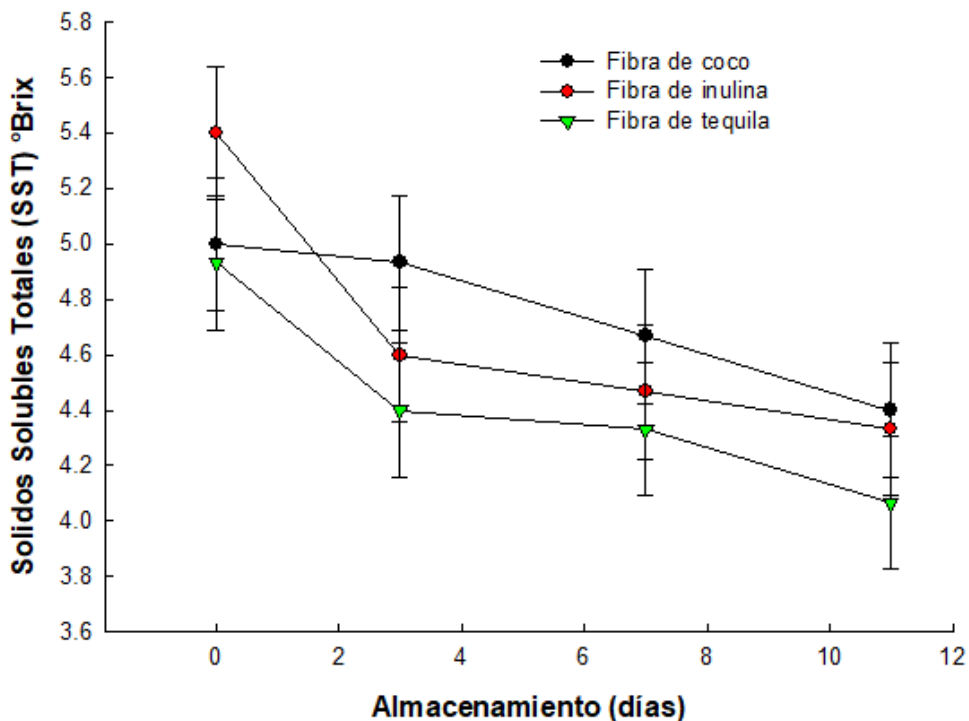


Figura 24. Sólidos solubles totales expresado en grados Brix del pepino durante 9 días de almacenamiento.

6.5.6 Acidez titulable

La acidez titulable (AT) es una variable importante la cual representa los ácidos orgánicos que se puedan encontrar presentes en el producto a analizar. generalmente se expresa en % de ácido cítrico. Los resultados indican que los

pepinos sembrados en FC (0.0851%) presentan un 0.01% mayor de AT que los provenientes de FI (0.0772%), en cuanto a los frutos de la FT, sus valores son similares a los frutos de la FC (0.0849%), las cuales durante los días de almacenamiento tuvieron un comportamiento similar.

Según Moreno *et al.*, 2015, los valores de AT en frutos de pepino se encuentran entre 0.083 a 0.089% de ácido cítrico en la variedad 'Sanson' y depende de la solución nutritiva; por su parte Cortés *et al.*, (2011) reportaron que frutos de pepino 'Cohombro' presentaron valores de 0.05% y la variedad 'Sanson' de 0.069% de ácido cítrico.

El incremento de la acidez al final del almacenamiento es consecuencia de la senescencia tal como menciona Díaz (2002).

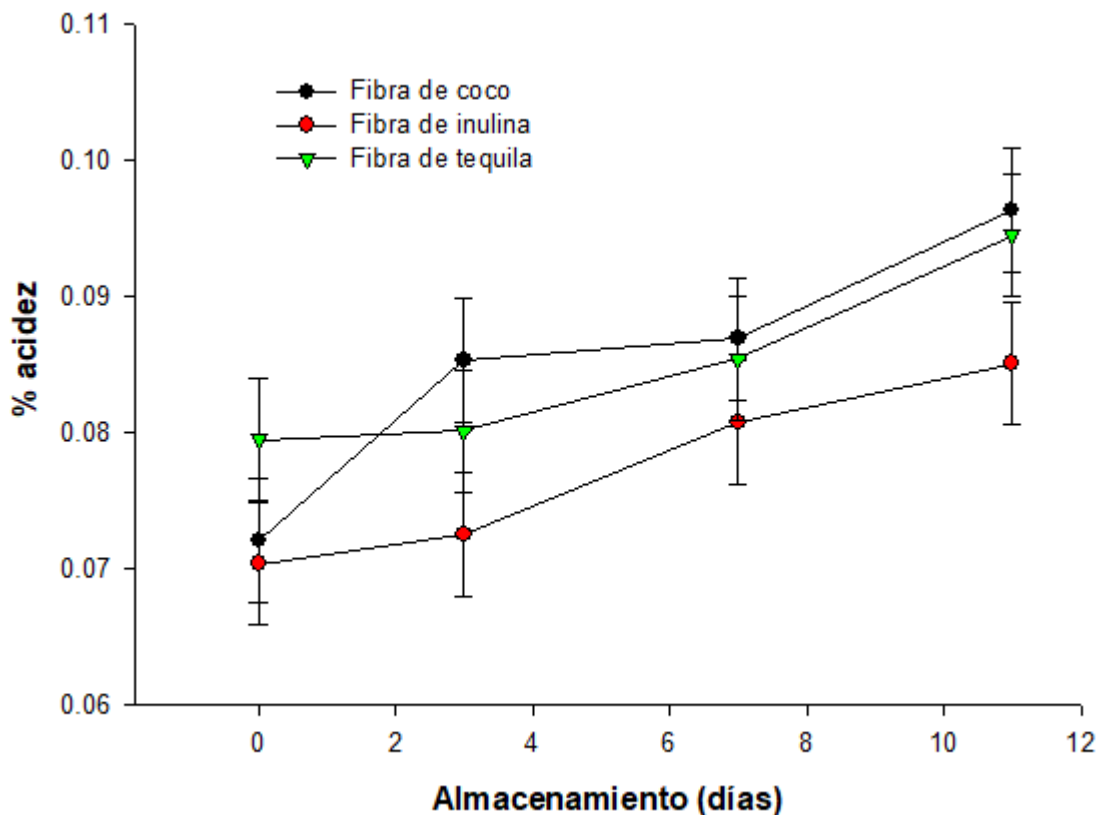


Figura 25. Acidez titulable expresada en (% ácido cítrico) del pepino durante 9 días de almacenamiento.

Las plantas de pepino en los diferentes sustratos se encontraban en el mismo invernadero y estuvieron bajo las mismas condiciones de riego de manera que puede decirse que los pepinos no tuvieron deficiencias de nutrición ni deficiencias de agua durante el ciclo; sin embargo, los pepinos de la FC tuvieron los valores más elevados de SST, mientras que los de FT los menores; pero con una acidez similar y aunque no se realizó una evaluación sensorial, los pepinos que se consumieron no se percibieron diferentes en sabor.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis poscosecha, los pepinos cultivados en las fibras de agave mostraron valores ligeramente más bajos en textura y color que los de fibra de coco; sin embargo, tuvieron comportamientos similares durante los días de almacenamiento del estudio. Aunque los resultados de los pepinos cultivados en la fibra de coco fueron más favorables, la calidad de los pepinos de las fibras de agave puede llegar a ser comparables y competentes y posiblemente aceptada por el consumidor final.

7. Conclusiones:

- La fibra proveniente del proceso de tequila presentó mejores propiedades químicas que la fibra proveniente de inulina, y similar a la fibra de coco.
- La densidad aparente es mayor en la fibra de coco que en las fibras de agave, lo que significa que las fibras de agave son livianas y no limitan el crecimiento de las raíces porque no tenderán a compactarse.
- A pesar de que la fibra de tequila presentó una menor capacidad de retención de agua que la fibra de coco; puedo sostener el cultivo de pepino logrando frutos de calidad similar a los de la fibra de coco.
- Las fibras de agave presentaron una relación C/N superior a 85, pero 50 % menor que la fibra de coco; sin embargo, presentaron una buena estabilidad al final del ciclo en el invernadero.
- En cuanto al desempeño agronómico el comportamiento del cultivo de pepino fue similar en la fibra de tequila comparado con la fibra de coco durante todo el ciclo, sin afectar el desarrollo de la planta; además el rendimiento fue similar entre ambas fibras (22,653 kg/m²/semana) con frutos con calidad comercial.
- Las propiedades físicas de la fibra de inulina no son adecuadas para considerarse un buen sustrato debido principalmente a su baja capacidad de retención de agua derivado de su alta porosidad y en consecuencia presenta un alto porcentaje de drenaje.
- La fibra de agave proveniente de la industria del tequila sin compostear presenta características prometedoras para ser usadas como sustrato en condiciones de invernadero; sin embargo, los resultados indican que es necesario un grado de composteo.

8. Referencias bibliográficas

Abad, M., Martínez, P. F., Martínez, M. D., y Martínez, J. (1993). Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura*, 11:14. pp 141-154
DOI:

https://redivia.gva.es/bitstream/handle/20.500.11939/8211/1993_Abad_Evaluaci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Abad, M., y Noguera, P. (1998). Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En C. Cadahia López (Ed.). *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales* (pp. 282-342). Madrid, España: Mundi-Prensa.
https://www.researchgate.net/publication/237100771_Sustratos_para_el_cultivo_sin_suelo_Materiales_propiedades_y_manejo

Abad, M. & Noguera P. (2000). Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu M. (Ed) *Manual de cultivo sin suelo*. 2ª Ed. Mundi-Prensa pp: 137-185.
DOI: <https://www.mundiprensa.mx/catalogo/9788484766681/manual-practico-del-cultivo-sin-suelo-e-hidroponia>

Abad, M., Noguera, P., Carrión, B. C. (2004). Los Sustratos en los cultivos sin suelo. En: M. G. Urrestarazu, (Ed). *Tratado de cultivo sin suelo*. 2nd ed. Mundi-Prensa. Almería, España. pp. 113-158. DOI:
<https://www.mundiprensa.mx/catalogo/9788484766681/manual-practico-del-cultivo-sin-suelo-e-hidroponia>

Abad, M., Noguera, P., y Camón, C. (2005). Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En: C. Cadahía (Ed): *Fertirrigación de cultivos hortícola y ornamentales*. (coord). 3ª ed. Mundi-Prensa. Madrid, España, pp. 299-352. DOI:
[https://books.google.com.mx/books?id=wRpfAwAAQBAJ&pg=PA352&lpg=PA352&dq=Sustratos+para+el+cultivo+sin+suelo+y+fertirrigaci%C3%B3n.+En:+C.+Cadah%3%ADa+\(Ed\):+Fertirrigaci%C3%B3n+de+cultivos+hort%C3%ADcola+y+ornamentales.&source=bl&ots=bQwGO1nnGV&sig=ACfU3U0fdM1efnlyu5tAdeF7gN_LsUxp5DQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiZkcDSxNr3AhVwJ0QIHXOrAJ4Q6AF6BAggEAM#v=o](https://books.google.com.mx/books?id=wRpfAwAAQBAJ&pg=PA352&lpg=PA352&dq=Sustratos+para+el+cultivo+sin+suelo+y+fertirrigaci%C3%B3n.+En:+C.+Cadah%3%ADa+(Ed):+Fertirrigaci%C3%B3n+de+cultivos+hort%C3%ADcola+y+ornamentales.&source=bl&ots=bQwGO1nnGV&sig=ACfU3U0fdM1efnlyu5tAdeF7gN_LsUxp5DQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiZkcDSxNr3AhVwJ0QIHXOrAJ4Q6AF6BAggEAM#v=o)

[nepage&q=Sustratos%20para%20el%20cultivo%20sin%20suelo%20y%20fertirrigaci%C3%B3n.%20En%3A%20C.%20Cadah%C3%ADa%20\(Ed\)%3A%20Fertirrigaci%C3%B3n%20de%20cultivos%20hort%C3%ADcola%20y%20ornamentales.&f=false](http://nepage&q=Sustratos%20para%20el%20cultivo%20sin%20suelo%20y%20fertirrigaci%C3%B3n.%20En%3A%20C.%20Cadah%C3%ADa%20(Ed)%3A%20Fertirrigaci%C3%B3n%20de%20cultivos%20hort%C3%ADcola%20y%20ornamentales.&f=false)

Abreu, S. J. S. (2013). Aprovechamiento de Bagazo de Agave tequilana Weber para la producción de biohidrógeno. Tesis de maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT). Posgrado en Ciencias ambientales DOI: <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/handle/11627/86/AbreuSherrer.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Arreguín-Cortés, F., López-Pérez, M., Marengo-Mogollón, H. & Tejeda-González, C. (2007) Agua Virtual en México, Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XXII, no.4 octubre-diciembre, pp 121-132. DOI: http://cenca.imta.mx/pdf/agua_virtual.pdf

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. EUA. http://files.foodmate.com/2013/files_2986.html

AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. EUA. http://files.foodmate.com/2013/files_2986.html

Asociación Mexicana de la Horticultura protegida (AMHPAC). (2019, mayo 23) Boletín informático. <https://www.amhpac.org/es/index.php/en/>

Bárbaro, L., Karlanian, M. Mata, D. (2018). Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. - 1a ed. – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Buenos Aires: Ediciones INTA, 2018. Libro digital, PDF. Pp 2-11 DOI: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_electrica_ce_en_los_sutratos_para_plantas.pdf

Barraza-Álvarez, F. V. (2015). Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 9(1), pp 60–71. DOI: <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3746>

Barros, E. (1997). Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. 287 p.

Ben-Yehoushua, S. (1987). Transpiration, water stress, and gas exchange. *In*: Postharvest physiology and pathology of vegetables. Bartz, J., Brecht, J. (Eds). 2a ed. Dekker, M. Inc. New York. 113-138 pp. DOI:[10.1201/9780203910092.ch5](https://doi.org/10.1201/9780203910092.ch5)

Bertsch, F. (2005). Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones agronómicas. Instituto de la Potasa y el fosforo. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. Rev. 57,1 p. 2-10
Link. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/C01B3122AB8E6C80852579A300744525/\\$FILE/Estudios%20de%20absorci%C3%B3n%20de%20nutrientes%20como%20apoyo.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/C01B3122AB8E6C80852579A300744525/$FILE/Estudios%20de%20absorci%C3%B3n%20de%20nutrientes%20como%20apoyo.pdf)

Bessadok, A., Langevin, D., Gouanvé, F., Chappey, C., Roudesli, S. & Marai, S. (2009). Study of water sorption on modified Agave fibres. Carbohydrate Polymers. 76: pp 74-65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.09.033>

Burés, S. (1997). Sustratos. Ediciones Agro técnicas. J.N. Pastor S. 1 ed. Madrid, España. 342 p. DOI: <https://www.agapea.com/libros/Sustratos-9788487480751-i.htm>

Burt, J. R. (2007). Growing cucumbers in protected cultivation in Western Australia. Department of Primary Industries and Regional Development, Western Australia, Perth. Report. pp. 3, 4, 13, 14. Link: <https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1034&context=pubns>

Cabot, M. O. (2012, abril 24). Caracterización de compost de residuos hortícolas como sustratos para la producción de planta ornamental en maceta. "valoración de residuos, restos de plantas de hortalizas, compostaje, cultivos en sustrato, sustitutivos de la turba". Disponible en <http://www.orene.cat/compostaje/>

Carlile, W. R., Raviv, M., & Prasad, M. (2019). Chapter 8. Organic Soilless Media Components. En: Raviv M. y Lieth H. (Eds). 2a ed. Soilless Culture, Theory and

Practice.Elsevier Science, pp. 303–378. DOI:10.1016/b978-0-444-63696-6.00008-6.

Carmona, E., J., Morales-Martínez, T. K., Mussatto, S. I., Castillo Quiroz, D., Ríos-González, L. J. (2017) Propiedades químicas, estructurales y funcionales de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) Revista mexicana de Ciencias Forestales, vol. 8, núm. 42. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. DOI: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000400100

Castañeda-Miranda R., Ventura-Ramos, E., Peniche-Vera, R. R. y Herrera-Ruiz, G. (2007). Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. Agrocienca41(3) Texcoco abr./may. 2007 pp 317-335. DOI: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952007000300317

Chacón-Padilla, K., Monge-Peréz, J. E. (2020). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero: comparación entre tipos de pepinos. Tecnología en marcha. Editorial Tecnología de Costa Rica, Costa Rica. ISSN-e: 2215-3241. vol. 33, núm. 1, . DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5018>

Consejo Regulador del Tequila (CRT), (2017, 12 mayo). Estadísticas. DOI: <https://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/>

Cortés, M., Johan, Y., y Rodríguez, E. (2011). Valoración de atributos de calidad en pepino (*Cucumis sativus* L.) fortificado con vitamina E. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 9(1):24-34. DOI: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612011000100004&script=sci_abstract&tlng=es

Crespo-González, M.R., González, E. D. R., Rodríguez, M. R., Rendón, S. L. A., Del Real, L. J. I. y Torres, M. J. P. (2013). Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul

tequilero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4, 1161-1173. DOI: [10.20937/RICA.2018.34.03.01](https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.01)

Crespo-González, M.R., González, E. D. R., Rodríguez, M. R., Ruiz, C., J. A., Duran P. N. (2018). Caracterización química y física del bagazo de agave tequilero compostado con biosólidos de vinaza como componente de sustratos para cultivos en contenedor. Rev. Int. Contam. Ambie. 34 (3) 373-382, 2018. DOI: [10.20937/RICA.2018.34.03.01](https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.01)

Cruz-Antonio R., Mendoza A. M., Vieira M. C. y Heinze, T. (1999). Studies on grafting of cellulosic materials isolated from Agave lechuguilla and fourcroydes. Cellulose 9: 203-212. DOI: [10.1023/A:1020158128506](https://doi.org/10.1023/A:1020158128506)

Day M. y Shaw K. (2005). Proceso biológicos, químicos y físicos del compostaje. En P. Stofella y B. Khan (Eds.). Utilización del compost en sistemas de cultivo hortícola. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 17-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1088715>

De Boodt, M., O. Verdonck and I. Cappaert. (1974). Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. Acta Hort. 37: 2054-2062. DOI: https://www.ishs.org/ishs-article/37_20

Díaz, M. D. H. (2002). AGT Editor, S. A. México, D. F. 390 p. Link: <http://www.rgslibros.com/libro/fisiologia-de-arboles-frutales-1429>

Fageria, N. K. y Baligar, V.C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Adv. Agron. 88: 97-185. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6)

Galiotta, G. D., L. Guilbert, E.; Cuq, B. (1998). Mechanical and Thermomechanical Properties of Films Based on Whey Proteins as Affected by Plasticizer and Crosslinking Agents. Journal of Dairy Science. Volume 81 Issue (12) pp 3123-3130. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75877-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75877-1)

Gallardo, V, J. (2017) Ciencia y Desarrollo: Industria del tequila y generación de residuos, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C, México. pp 48-53 Zapopan, <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=287>

Gálvez, H. F. (2004). El cultivo de pepino en invernadero. En: Castellano R J (Ed). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2ª (ed). INTAGRI. Celaya, Gto. México. pp 282-293. Link: <https://drco-mag.yolasite.com/resources/MANUALBASICOPARAELMANEJODEINVERNADE ROS.pdf>

Gayosso, Rodríguez, S., Borges, Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada, Botello, M. E., Gurruña, Hernández, R. (2016). Conductividad eléctrica y sales en lavados de fibra de coco y sargazo. Ciencia y Tecnol. Agrop. México Vol. 4 Núm. 1: 20-26. DOI: https://www.researchgate.net/publication/308798320_CONDUCTIVIDAD_ELECTRICA_Y_SALES_EN_LAVADOS_DE_FIBRA_DE_COCO_Y_SARGAZO

Gayoso-Rodríguez, S., Gutiérrez-Castorena, M. C., Estrada-Botello, M. A., Sánchez, H. R. (2018). Características micromorfológicas de sustratos orgánicos y su relación con retención de agua y crecimiento radical. Agrociencia. DOI: <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i3.2413>

Gilabert de Brito, J., de Rojas, I., y de Roberti, R. (1990). Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Maracay, VE, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 215 p. DOI: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>

González-García, Y., González, R. O., Nungaray, A. J. (2005). Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. e-Gnosis, núm. 3, 2005, p. 18. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México. Link: <https://www.redalyc.org/pdf/730/73000314.pdf>

Gruda, N. S. (2019) Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems. Agronomy, vol. 9, 298. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9060298>

Gumeta, C.C. (2009). Estudio del secado convectivo y de la extracción de celulosa a través del proceso organosolv a partir de agave atrovirens karw (Doctorado en Ciencias en Alimentos). Instituto Politécnico Nacional, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México. Link: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7995/115.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guzmán, V. A. M., Santiago-García, P. A., López, M. G. (2009). Compuestos volátiles aromáticos generados durante la elaboración de mezcal de Agave angustifolia y Agave potatorum. Rev. fitotec. mex vol.32 no.4 Chapingo. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802009000400005&script=sci_arttext

Harada, Y.A., Inoko, A., Tadaki, M. e Izawa, T. (1981). Maturing process of city refuse compost during piling. En: The science of composting. (E. Epstein, Ed.). CRC Press, Boca Raton, Florida, EUA, pp. 107-136. DOI: 10.1080/00380768.1981.10431290

Hochmuth, R. C. (1990). Greenhouse Cucumber Production – Florida Greenhouse Vegetable Production Handbook, 3 1. HS790. Revisada en Junio del 2001 y en Enero de 2012. UF Universidad de Florida IFAS Extension. University of Florida, Gainesville, FL 32611. Link: <https://edis.ifas.ufl.edu/>

Hoz-Zavala E., M.E.E., y P. Nava-Diguero. (2017). Situación del agave y sus residuos en Tamaulipas. Revista de Energías Renovables. Vol. I, No.1 pp. 19-31. Link: https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Energias_Renovables/vol1num1/Revista_de_Energias_Renovables_V1_N1_3.pdf

Imaizumia, T., Yamauchib, M., Sekiyab, M., Shimonishib, Y., Tanak, F. (2018). Responses of phytonutrients and tissue condition in persimmon and cucumber to postharvest UV-C irradiation. Postharvest Biology and Technology. 145:33-40. DOI: [10.1016/j.postharvbio.2018.06.003](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.06.003)

Iñiguez-Covarrubias, G., Lange, S.E., y Rowell, R. M. (2001). Utilization of byproducts from the tequila industry: part 1: agave bagasse as a raw material for animal feeding and fiberboard production. *Bioresource Technology* 77: pp 25-32. DOI:[10.1016/S0960-8524\(00\)00137-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00137-1)

Iñiguez, C.G., Martínez, G.A., Flores, P.A. and Virgen, C.G. (2011). Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 9. Monitoreo de la evolución del compostaje de dos fuentes distintas de bagazo de agave para la obtención de un substrato para jitomate. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27, pp 47-59. Link:

<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/23840>

Jiménez, R. y Caballero, M. (1990). *El Cultivo Industrial de Plantas en Maceta*. Ediciones de Horticultura SL. Barcelona, España. Pp. 90-100. Link: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=240455>

Kazemi, M. (2013). Response of cucumber plants to foliar application of calcium chloride and paclobutrazol under greenhouse conditions. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.* 2 (11), pp.15-18. Link: <https://www.semanticscholar.org/paper/Response-of-Cucumber-Plants-to-Foliar-Application-Shehata-Fawzy/ed76e7cfcf5f69e6fef2e94cf9efb170cf5ef203>

Kestur, G. S., Flores-Sahagun, T. H. S., Dos Santos, L. P., Dos Santos, J., Mazzaro, I., y Mikowski, A. (2013). Characterization of blue agave bagasse fibers of Mexico. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 45, pp.153–161. DOI: [10.1016/j.compositesa.2012.09.001](https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.09.001)

Lazcano, C. y Domínguez, J. (2010) Effects of vermicompost as a potting amendment of two commercially-grown ornamental plant species. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8:1260-1270. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3360235>

Maher, M., Prasad, M., Raviv, M. (2008). Organic Soilless Media Components. In *Soiless Culture: Theory and Practice*. RAVIV, M.; LIETH J. H. (Eds.). 1a ed. Editorial Elsevier. United Stated of America 459–504 pp. Link:

<https://www.elsevier.com/books/soilless-culture-theory-and-practice/raviv/978-0-444-52975-6>

Marschner, H. (1986). Academic Press. 2a ed. Londres. pp. 7-73, 285-299.
<https://www.elsevier.com/books/mineral-nutrition-of-higher-plants/marschner/978-0-08-057187-4>

Martínez-Gutiérrez, G. A., Zarate-Altamirano, G., Urrestarazu, G. M. (2012). Residuos de bagazo de maguey como sustrato sostenible en cultivo sin suelo para cultivo de melón y tomate. Journal of Plant Nutrition. Volume 35, Issue 14, pp. 2135-2144, DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.724493>

Martínez-Gutiérrez, G. A., Iñiguez, C. G., Ortíz, H. Y. D., López, C. J. Y. y Bautista, C.A. (2013). Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 29, 209-216. Link: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000300007#:~:text=Con%20180%20d%C3%ADas%20de%20apilado,y%2090%20d%C3%ADas%20\(0.03%25\).](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000300007#:~:text=Con%20180%20d%C3%ADas%20de%20apilado,y%2090%20d%C3%ADas%20(0.03%25).)

McLellan, M. R. (1994). Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant Hunter L,a,b Data. Journal of Food Quality 18(3):235 - 240.10.1111/j.1745-4557.1995.tb00377.x

Miller, G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal. Chem. 31: 426-428. DOI: <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>

Moreno, R., Aguilar, D. y Luévano, G. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista Mexicana de Agronegocios 29; 763-774. Link: <https://www.redalyc.org/pdf/141/14119052014.pdf>

Moreno, V. D., Hernández, H. B. N., Barrios-Díaz, J. M., Ibáñez-Martínez, A., Cruz-Romero, W., y Berdeja, A. R. (2015). Calidad poscosecha de frutos de pepino cultivados con diferente solución nutritiva. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 6(3), 637-643. DOI:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000300016&lng=es&tling=es

Noguera, P., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A. y Noguera, V. (2003). Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34 (3-4), 593-605. DOI: 10.1081/CSS-120017842.

Nichols, M. A. (2009). Recent Advances in coir as a growing medium. *Acta Hort.* 843: 333-336. DOI: [10.17660/ActaHortic.2009.843.44](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.843.44)

Normal Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016, Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. Consultado el 30 de Abril del 2021. Link: http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6437/seeco11_C/seeco11_C.html

Ordoñez, Y.M., B.R. Fernández, L.S. Lara, A. Rodríguez, D. Uribe y I. R. Sanders. 2016. Bacteria with phosphate solubilizing capacity alter mycorrhizal fungal growth both inside and outside the root and in the presence of native microbial communities. *PLoS ONE* 11(6), e0154438. 10.1371/journal.pone.0154438

Opportimes.com (2019). Crecen exportaciones mexicanas de pepino cuatro años. Opportimes.com del 22 de marzo. Disponible en:

<https://www.opportimes.com/crecen-exportaciones-mexicanas-de-pepino-cuatro-anos/>

Ortega Torres, A. E. (2017). Producción hidropónica de jitomate, pimiento y pepino en sustrato de fibra de coco y acrilato de potasio. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería. Link: <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1264/1/RI004588.pdf>

Panyakaew, S., y Fotios, S. (2011). New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and Buildings*, 43 (7), 1732.-1739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.015>

Paulitz, T. C. (2001). Biological control in greenhouse systems. *Phytopath* 39: pp. 103- 133. DOI: [10.1146/annurev.phyto.39.1.103](https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.39.1.103)

Quesada-Roldán, G. y Méndez-Soto, C. (2004). Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana* 16 (2):171- 183. Link: <https://www.redalyc.org/pdf/437/43716207.pdf>

Quesada-Roldán, G. y Bertsch-Hernández, F. (2012). Fertirriego en el rendimiento de híbridos de tomate producidos en invernadero. *Agronomía Mesoamericana*, 23 (1), 117-128. DOI: [10.15517/am.v23i1.11794](https://doi.org/10.15517/am.v23i1.11794)

Revista InfoAgro. (2017). Características de un sustrato ideal. Consultado en: 31 marzo 2021. Link: <https://mexico.infoagro.com/caracteristicas-del-sustrato-ideal/>

Rhoades, J. (1982). Cation Exchange Capacity. En Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monographs N° 9*. American Society of Agronomy. Madison, WI, EEUU. pp. 149- 157. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c8>

Rigal, L., y Alonso M. (2015). Caracterización y valorización del bagazo de agave de Agave Tequilana Webber de la industria del tequila. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 3(2) 31-39, 1997. DOI: <https://revistas.chapingo.mx/horticultura/phpscript/download.php?file=completo&id=MTM4OA==>

Rodríguez, M. R., Alcantar, E. G., Iñiguez, C. G., Zamora, N., F., García, L. P. M., Ruiz, L. M. A., y Salcedo, P. E. (2010). Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia*, 35(7), 515-520. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3431863>

Rodríguez-Narváez, D. (2013). Evaluación de sustratos orgánicos alternativos en la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. Tesis Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería y Veterinaria. Link: <https://ninive.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3400/MPA1EVA01301.pdf?sequence=2>

Satyanarayana, T., Majumdar, K., Shahi, V., Kumar, A., Pampolino, M., Jat, M. L., Singh, V. K., Gupta, N. Singh, V., Dwivedi, B. S., Kumar, D., Malik, R. K., Singh, V., Sidhu, H. S. and Johnston. (2013). Fertiliser Best Management Practices for Maize Systems, A. Indian J. Fert., 8(8): 62-71. Link: [http://sap.ipni.net/ipniweb/region/sap.nsf/0/6983574AABE3655085257BC70044C677/\\$FILE/Fertiliser%20Best%20Management%20Practices%20for%20maize_2013.pdf](http://sap.ipni.net/ipniweb/region/sap.nsf/0/6983574AABE3655085257BC70044C677/$FILE/Fertiliser%20Best%20Management%20Practices%20for%20maize_2013.pdf)

Sánchez del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. C., Pineda-Pineda, J. O., Osuna, J. M., Rordriguez-Perez, J., y Osuna, T. (2014). Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. Agrociencia. 2(48): pp 185-197. Link: <https://www.redalyc.org/pdf/302/30230743005.pdf>

Sánchez de Prager, M., A., Rojas, P. J., Zuñiga, O. y Gascó, J.M. (2006). Actividad y biomasa microbianas como indicadores de materia orgánica en sistemas de cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Toro, Valle del Cauca, Colombia. Acta Agron. 55(4), 7-12. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/22084>

Sakata, Y., Sugiyama, M., Yoshioka, Y., Ohara, T. (2010). Morphological characteristics and yield of five major cucumber types under cultivation in Japan. Bull. Natl. Inst. Veg. Tea Sci. 9, pp 113–123. Link: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=JP2010004419>

Serrano D.F.R. (2004). Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernaderos. Memorias IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, México. pp. 44-68.

https://www.academia.edu/27322126/Selecci%C3%B3n_de_sustratos_para_la_producci%C3%B3n_de_hortalizas_en_invernadero

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (SIAP). Fecha de consulta: 15 de enero del 2020. <https://www.gob.mx/siap>

Shaw, N., Cantliffe, D., Rodriguez, J., Taylor, S., y Spencer, D.. (2000). Beit Alpha Cucumber- an Exiting New Greenhouse Crop. Proc. Fla. State Hort. Soc. 113: 247-253. 2000. pp 247, 250. Link: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201700218038>

Shetty, N., Wehner, T.C. (1998). Evaluation of Oriental trellis cucumbers for production in North Carolina. HortScience 33, pp 891–896. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.33.5.891>

Somarriba R., C. (1998). Granos básicos: texto básico. Universidad Nacional Agriaria. Manigua, Nicaragua. pp. 1-57. Link: <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2704>

Suslow, T. and Cantwell, M. (1997). Cucumber. Producer facts. Perishables Handling No. 90. University of California, Davis. USA. 21-22 pp. Link: <https://postharvest.ucdavis.edu/files/259448.pdf>

Tanaka F, Nashiro K, Obatake W, Tanaka F, Uchino T. (2017). Observation and analysis of internal structure of cucumber fruit during storage using X-ray computed tomography. Engineering in Agriculture, Environment and Food. DOI: [10.1016/j.eaef.2017.12.004](https://doi.org/10.1016/j.eaef.2017.12.004)

Tarjuelo, J. (1999). El riego por aspersión y su tecnología. (2da) edición. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. 670p. Link: <https://www.mundiprensa.mx/catalogo/9788484762256/el-riego-por-aspersion-y-su-tecnologia>

Téllez, M. P. (1998). “El Cocimiento, una Etapa Importante en la Producción del Tequila”. Bebidas Mexicanas 7(1) pp 19-20. Fecha de consulta: El 25 de Mayo 202.

Link: <https://docplayer.es/16983679-Azucares-en-agaves-agave-tequilana-weber-cultivados-en-el-estado-de-guanajuato-resumen-abstract.html>

Urrestarazu, G. M. (2004). Tratado de cultivos sin suelo. 3ª edición. Mundi-prensa libros. Link: <https://www.mundiprensa.mx/catalogo/9788484761396/tratado-de-cultivo-sin-suelo>

Urrestarazu, G. M. (2015). Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía. Ediciones Mundi-Prensa, ISBN: 978-84-8476-668-1. España.

Valcárcel-Germes, J. V. (2017). Racionalización de la colección de pepino (*Cucumis Sativus L.*) Bando de Germoplasma. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado 2 de marzo de 2022, de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86216/Valcarcel%20-%20Racionalizaci%F3n%20de%20la%20colecci%F3n%20de%20pepino%20\(Cucumis%20sativus%20L.\)%20del%20banco%20de%20germoplas.pdf?sequence=10](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86216/Valcarcel%20-%20Racionalizaci%F3n%20de%20la%20colecci%F3n%20de%20pepino%20(Cucumis%20sativus%20L.)%20del%20banco%20de%20germoplas.pdf?sequence=10)

Van Bemmelen, J.M. (1890). Über die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloïdalen Silikaten gebundenen Kieselsäure, des Mangans u. s. w. im Ackerboden. Die Landwirthschaftlichen Versuchs-Stationen 37: 279-290. <https://edepot.wur.nl/211282>

Varma, A. (2017). Soil biology. Springer; 1st ed., New York, USA.

Vasco, M. R. (2003). El cultivo del pepino bajo invernadero. En: Camacho F.F (Ed). Técnicas de Producción en Cultivos Protegidos. Caja Rural Intermediterránea, Cajamar. Almería, España. Pp 691-722. Link: <https://www.agro-alimentarias.coop/ficheros/doc/02430.pdf>

Vázquez, V. C., Cervantes, T. J., Salazar, S. E., Orona-Castillo, I., Gallegos-Robles, M. A., Figueroa, V. R. (2014). Efecto de abonos orgánicos y micorriza en la producción de pepino (*Cucumis sativus L.*) en malla sombra. XXXVIII Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, AC. Memoria in Extenso. Vol II, 157-160. Link:

http://www.smcsmx.org/files/congresos/Vol_II_Memorias_Extenso_SMCS-2013.pdf

Vázquez-Aguilar, B. (2018). Retos y oportunidades del coco en Colima. Revisado el día 30 de mayo del 2022. Link: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Retos-y-oportunidades-del-coco-en-Colima-20180131-0106.html>

Verheul, M. J., Slimestad, R. y Johnsen, L. R. (2013). Physicochemical changes and sensory evaluation of slicing cucumbers from different origins. *Europ. J. Hort. Sci.* 78(4), pp176-183. Link: https://www.pubhort.org/ejhs/2013/file_3986029.pdf

Waris, M. H., Khan, I. A., Ahmad, F., Iqbal, M., Shoaib, M., Ullah, Z. (2014). Screening of cucumber varieties against downy mildew. *Pseudoperonospora cubensis* and its chemical management. *Pak. J. Phytopathology.* 29: pp 321-329. Link: <https://www.semanticscholar.org/paper/SCREENING-OF-CUCUMBER-VARIETIES-AGAINST-DOWNY-AND-Waris-Haq/51c6cd0175717765abd0cb7bd087395dd6cf0646>

Zamora, E. (2017). El cultivo de pepino persa (*Cucumis sativus* L.) bajo cubiertas plásticas. Cultivos Protegidos HORT-CP-007. Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. Disponible en: [https://dagus.unison.mx/Zamora/7.%20EL%20CULTIVO%20DE%20PEPINO%20PERSA%20\(Cucumis%20sativus%20L.\)%20BAJO%20CUBIERTAS%20PLASTICAS.pdf](https://dagus.unison.mx/Zamora/7.%20EL%20CULTIVO%20DE%20PEPINO%20PERSA%20(Cucumis%20sativus%20L.)%20BAJO%20CUBIERTAS%20PLASTICAS.pdf)

Zapata, N., Guerrero, F., Polo, A. (2005). Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustrato de cultivo. *Agric. Técn.* 4: 378-387. DOI: [10.4067/S0365-28072005000400004](https://doi.org/10.4067/S0365-28072005000400004)

9. Anexo

Anexo 1. Propiedades físicas de diversos sustratos orgánicos e inorgánicos y su nivel óptimo.

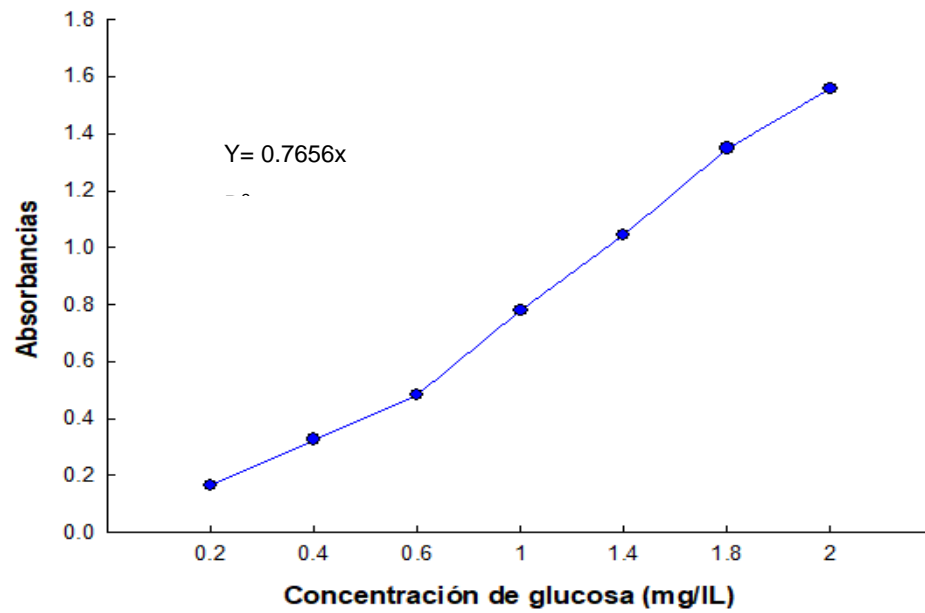
| Propiedad | Turba | Posidonia y vegetales | Vegetales de invernadero | Corcho | Cascarilla de arroz | Fibra de coco | Cáscara de almendras | Lana de roca | Perlit | Roca volcánica | NO |
|--|-------|-----------------------|--------------------------|------------|---------------------|---------------|----------------------|--------------|--------|----------------|-------------|
| Índice de grosor (% peso) | 46 | 29 | 60.4 – 65.6 | | 88.5 | 34 | 92 | | | 75.6 | |
| Densidad aparente (g/cm ³) | 0.07 | 0.47 | 0.34 – 0.39 | 0.2 – 0.24 | 0.103 | 0.059 | 0.44 | 0.068 | 0.143 | 1.37 | >0.40 |
| Densidad real (g/cm ³) | | | | 1.45 | 1.39 | 1.51 | 1.46 – 1.48 | | | 2.62 | 1.45 – 2.65 |
| Espacio poroso total (% vol) | 96 | 78.8 | 77.9 – 81.2 | >80 | 92.6 | 96.1 | 69.8 – 85.74 | 97.4 | 85.9 | 51.0 | 85 |
| Capacidad de aireación (% vol) | 41 | 55.4 | 56.1 – 62.7 | >20 | 84.4 | 41.2 | 45.8 – 31.42 | 35.9 | 29.1 | 29.6 | 20-30 |
| Agua fácilmente disponible | 25 | | | 17 | 0.46 | 19.9 | 3.44 | 58.8 | 24.6 | 10.0 | 20-30 |
| Agua de reserva (% vol) | 6 | | | 2 | 0.4 | 3.5 | 4.69 | 0.3 | 7.0 | 0.1 | 4-10 |
| Agua total disponible (% vol) | 31 | | | 19 | 0.86 | 23.4 | 8.13 | 59.1 | 31.6 | 10.1 | 24-30 |
| Agua difícilmente disponible (%vol) | 24 | | | | | | 29.25 | 2.4 | 25.2 | 9.3 | |
| Capacidad de retención de agua (mL.L) | 687 | 243 | 358-427 | | 75 | 523 | 241 | 634 | | | 600-1000 |
| Mojabilidad (minutos) | 17 | | 3.3 – 5.4 | | | >7 | 0.34 – 0.56 | 1.18 | | 0.32 | ≤5 |
| Contracción (%vol) | 22 | na | 7.5 – 13.3 | | na | 14 | na | | | | >30 |

(Fuente: Urrestarazu, 2015)

Anexo 2. Propiedades químicas de sustratos orgánicos e inorgánicos y su nivel óptimo.

| Propiedades químicas de diversos sustratos orgánicos e inorgánicos y su nivel de referencia deseable como sustrato hortícola "ideal" considerado óptimo (NO) | | | | | | | | | |
|--|-------|-----------------------|--------------------------|-----------|---------------------|---------------|---------------|----------------|-------------|
| Propiedad | Turba | Posidonia y vegetales | Vegetales de invernadero | Corcho | Cascarilla de arroz | Fibra de coco | Lana de roca | Roca volcánica | NO |
| pH | 3.9 | 8.14 | 7.90 – 8.00 | 6.5 – 7.0 | 6.7 | 5.71 | 5.4 – 5.0-5.2 | 9.5 | 5.2 – 6.3 |
| Conductividad eléctrica | 0.4 | 7.4 | 22.85 – 34.29 | 0.5 | 0.11 | 3.52 | 2.44 – 2.70 | 0.096 | 2.00 – 3.50 |
| Capacidad de intercambio catiónico (meq/g) | 99 | | 41.0 – 45.9 | 50 | | 61 | | | >20 |
| Materia orgánica total (% peso seco) | 98 | 48.1 | 56.1 – 62.7 | 85 | 82.2 | 93.8 | 98.9 – 99.0 | 1.8 % | |
| Cenizas (% peso seco) | 2 | 51.9 | 43.9 – 27.3 | | | | 1.1 – 1.0 | 98.2 | |
| C/N | 48 | 33.8 | | 20 | | 132 | | | 20 - 40 |
| Nutrientes asimilables (extracto de saturación; mg/L) | | | | | | | | | |
| N-NO ₃ | 4 | 48 | | | | 0.21 | | | 100 - 199 |
| N-NH ₄ | 7.4 | 2.8 | | | | 0.14 | | | 0 – 20 |
| P | 0.5 | 790 | | | | 41 | | < 5 | 6 – 10 |
| K+ | 17 | 8.300 | 3.3 – 5.4 | | | 956 | | 13.9 | 150 – 249 |
| Ca+ | 16 | 80.300 | 7.5 – 13.3 | | | 26 | | 32.8 | > 200 |
| Mg+ | 9 | 7.500 | | | | 20 | | 6.44 | > 70 |
| Na+ | 10 | | | | | 137 | | 45.4 | < 115 |
| Cl- | 22 | | | | | 1085 | | < 25 | < 180 |
| SO ₄ - | 20 | | | | | 23 | | 52.7 | < 960 |

Anexo 3. Curva de calibración de glucosa para la determinación de azúcares reductores.



Anexo 4. Mapa de la estructura del invernadero

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

- Las fibras de coco, se encuentran entre las columnas 9-17 de la fila 3, 18-26 de la fila 5 y 9-17 de la fila 7.
- Las fibras de inulina, se encuentran entre las columnas 9-17 de la fila 4, 9-17 de la fila 6, y 18-26 de la fila 7.
- Las fibras de tequila, se encuentran en las columnas 18-26 de la fila 4, 9-17 de la fila 5 y 18-26 de la fila 6.

Anexo 5. Contenido mineral de extracto saturado en fibras de coco y agave.

| | Fibra de coco | | Fibra de inulina | | Fibra de tequila | | Niveles |
|---|---------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|----------------|
| | ppm | Meq/L | ppm | Meq/L | ppm | Meq/L | |
| Aniones (-) | | | | | | | |
| Nitratos NO ₃ ⁻ | 35.07 | 0.57 | 92.11 | 1.49 | 92.11 | 1.49 | 3-8 Meq/L |
| Fosforo de fosfatos | 0.80 | 0.03 | 6.00 | 0.19 | 4.00 | 0.13 | 3-5 ppm |
| Fosfatos Diácido H ₂ PO ₄ | 2.50 | 0.03 | 18.78 | 0.19 | 12.52 | 0.13 | |
| Sulfatos SO ₄ | 144.09 | 3.00 | 67.24 | 1.40 | 67.24 | 1.40 | 3-6 Meq/L |
| Carbonatos HCO ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 Meq/L |
| Bicarbonatos HCO ₃ ⁻ | 91.52 | 1.50 | 146.42 | 2.40 | 134.22 | 2.20 | 0.5-3.0 Meq/L |
| Cloruros | 106.35 | 3.00 | 56.72 | 1.60 | 63.81 | 1.80 | <10.0 Meq/L |
| Suma de aniones | | 8.09 | | 7.08 | | 7.01 | |
| Cationes (+) | | | | | | | |
| Sodio Na ⁺ | 60.00 | 2.61 | 5.00 | 0.22 | 9.00 | 0.39 | <10.0 Meq/L |
| Potasio K ⁺ | 172.00 | 4.40 | 95.00 | 2.43 | 57.00 | 1.46 | 1.5-3.0 Meq/L |
| Calcio Ca ⁺ | 8.00 | 0.40 | 80.00 | 3.99 | 62.00 | 3.09 | 4.0-10.0 Meq/L |
| Magnesio Mg ⁻² | 2.00 | 0.16 | 8.00 | 0.66 | 32.00 | 2.63 | 2.0-5.0 Meq/L |
| Amonio NH ₄ ⁺ | 2.70 | 0.15 | 5.78 | 0.32 | 3.47 | 0.19 | |
| Suma de cationes | | 7.72 | | 7.62 | | 7.77 | |