



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE QUÍMICA

“Asociación de los sólidos solubles totales con la composición y percepción sensorial de tomates tipo “Grape” producidos en dos sustratos orgánicos”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Ciencia y Tecnología de alimentos

Presenta:

LG. Manuel Alberto Cortés Cuán

Dirigido por:

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios

Centro Universitario, Santiago de Querétaro, Qro.
Noviembre 2023



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Asociación de los sólidos solubles totales con la
composición y percepción sensorial de tomates tipo
“Grape” producidos en dos sustratos orgánicos.

por

Manuel Alberto Cortés Cuán

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: FQMAC-309131



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

“Asociación de los sólidos solubles totales con la composición y percepción sensorial de tomates tipo “Grape” producidos en dos sustratos orgánicos”

Tesis

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

Presenta:

L.G. Manuel Alberto Cortés Cuán

Dirigido por:

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios

Sinodales:

Dra. Estela Vázquez Barrios

Presidente

Dra. Dulce María Rivera Pastrana

Secretaria

Dr. Pedro Alberto Vázquez Landaverde

Vocal

Dr. Eduardo Castaño Tostado

Vocal

Dra. Encarnación Aguayo Giménez

Vocal

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano
Directora de la Facultad de Química

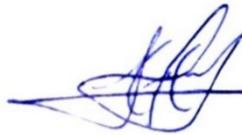
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario, Querétaro, Qro. México
Noviembre, 2023

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.



L.G. Manuel Alberto Cortés Cuán

DEDICATORIA

A mi esposa y mis hijos, cuya presencia constante y amor incondicional son el motor que impulsa cada uno de mis días. Les dedico esta obra que es tanto mía como suya.

A mis padres, mi fuente de inspiración y mis eternos héroes. Ustedes son mi ejemplo a seguir, mostrándome la importancia de la perseverancia, la integridad, y el amor. Gracias por su apoyo incansable y por creer en mí, incluso cuando yo no lo hacía.

A mis hermanos, quienes además de ser mis mejores amigos, han sido mi soporte inquebrantable, brindándome el aliento necesario para perseverar en mis metas.

A mis mentores, que, con su sabiduría y generosidad, han hecho esto posible.

Y a mis amigos, compañeros irremplazables en esta aventura. Por su apoyo incondicional, les estoy eternamente agradecido.

Esta tesis es un reflejo de todos ustedes, la dedico con todo mi corazón a cada uno de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento al comité de tesis, cuyos consejos y aportaciones han sido cruciales en la consecución de este trabajo académico.

Un agradecimiento especial a mis becarios: Ana Paola, Monserrat, Brianda y Diego, cuya dedicación, trabajo y apoyo constante han sido fundamentales y no han pasado desapercibidos.

A mis colegas de poscosecha, gracias por su solidaridad, cooperación y por compartir sus conocimientos y experiencia conmigo

Agradezco al panel sensorial por la dedicación y el tiempo brindado.

Mi agradecimiento a la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), por ser el espacio donde he tenido la oportunidad de crecer tanto a nivel profesional como personal.

Agradezco a CEIKOR por facilitar los tomates utilizados en la parte experimental de esta tesis.

Mi gratitud a CONACYT, cuyo financiamiento durante mi maestría ha sido fundamental para la realización de esta investigación y para mi desarrollo académico.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. ANTECEDENTES.....	5
2.1. Generalidades del tomate.....	5
2.1.1. Importancia económica.....	5
2.1.2. Cultivo orgánico vs cultivos convencional.....	6
2.1.3. Cultivo en sustratos orgánicos.....	7
2.1.4. Variedades de tomates tipo “snack”.....	8
2.1.5. Maduración de los frutos de tomate.....	10
2.1.6. Maduración de los frutos de tomate.....	12
2.2 Parámetros de calidad poscosecha en tomate fresco.....	20
2.3 Normatividad para el comercio de tomate.....	21
2.4 Evaluación sensorial de tomate en poscosecha.....	22
III. JUSTIFICACIÓN.....	24
IV. OBJETIVOS.....	25
4.1. Objetivo general.....	25
4.2. Objetivos específicos.....	25
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
5.1. Estrategia experimental.....	25
5.2. Material biológico.....	26
5.3 Métodos.....	27
5.3.1. Análisis sensorial.....	27
5.3.2. Análisis fisicoquímicos.....	31

5.3.3	Análisis de fitoquímicos	34
5.3.4	Análisis de ácidos orgánicos y compuestos volátiles.....	36
5.3.5	Diseño Experimental y Análisis Estadístico	37
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
6.1	Resultados microbiológicos para análisis sensoriales	40
6.2	Análisis sensorial afectivo.....	40
6.3	Análisis QDA	45
6.3.1	Selección y entrenamiento de panel.....	45
6.3.2	Análisis QDA	46
6.4	Caracterización fisicoquímica	50
6.5	Caracterización fitoquímica	54
6.6	Análisis de ácidos orgánicos	58
6.7	Determinación de perfil volátil.....	60
6.8	Asociación de composición con °Bx	64
VII.	CONCLUSIONES	67
VIII.	REFERENCIAS	69
IX.	ANEXOS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción de tomate del año 2012-2022	5
Figura 2: Variedades de tomate producidas en México para exportación, tomada de (Nature Fresh Farms, 2020).....	10
Figura 3: Etapas de madurez comercial según el color en frutos de tomate tomado de (USDA, 1975).....	12
Figura 4: Composición de tomate, adaptado de Davies <i>et al.</i> (1981)	15
Figura 5: Estructura química Licopeno, tomada de Gupta & Prakash (2014).....	18
Figura 6: Estructura química del β -caroteno, tomada de Gupta & Prakash (2014)	18
Figura 7: Diagrama de estrategia experimental	26
Figura 8: a) Prueba de discriminación de texturas; b) Variedades utilizadas para diferentes durezas.....	29
Figura 9: Panelistas realizando QDA.....	31
Figura 10: Foto ilustrativa de las plantas de tomates cultivados en sustratos de yuca y de coco en el invernadero.....	38
Figura 11: Gráfico de cajas del porcentaje de drenaje en los meses de producción de las filas experimentales: de la válvula 1 (fila 5) y válvula 2 (fila 6).	39
Figura 12: Histograma de puntuaciones en prueba afectiva por 92 consumidores	42
Figura 13: Identificación de sabores básicos de 35 candidatos.....	45
Figura 14: Perfil de tomates para FC y FY por el panel QDA	49
Figura 15: Imagen de 5 tomates aleatorios producidos en sustrato de FC y FY....	52
Figura 16: Efecto de interacción de contenido fitoquímico y muestreo	57
Figura 17: Perfil de ácidos orgánicos a 211 nm; perfil de FC=color verde y FY= color azul.....	59
Figura 18: PCA: Componentes 1-2 de todos los compuestos encontrados en la cromatografía de gases	62
Figura 19: PCA: Componentes 1 y 3 de todos los compuestos encontrados en la cromatografía de gases	63

Figura 21: Regresión de °Bx con ácido cítrico, ácido ascórbico, ácido oxálico y azúcares reductores.....65

Figura 22: Asociación de °Bx con compuestos fitoquímicos en frutos de FC y FY.66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características físicas y químicas de la fibra de coco (FC) y de yuca (FY)	9
Tabla 2: Cambios relacionados con la maduración fisiológica de tomate	11
Tabla 3: Cambios en la composición de frutos de tomate durante su maduración comercial	13
Tabla 4: Soluciones para pruebas de detección de gustos básicos	29
Tabla 5: Entrenamiento en descripción de texturas en frijol y tomate	30
Tabla 6: Soluciones para pruebas de umbrales	30
Tabla 7: Análisis microbiológico de muestras para análisis sensorial	40
Tabla 8: Prueba "JAR" para atributos gustativos	44
Tabla 9: Descriptores propuestos por panelistas para frutos de tomate	47
Tabla 10: Caracterización física de FC y FY	50
Tabla 11: Caracterización de color para frutos producidos de FC Y FY	51
Tabla 12: Caracterización química de frutos producidos en FC y FY	53
Tabla 13: Contenido de compuestos antioxidantes en frutos de tomate producidos en FC y FY	55
Tabla 15: Contenido de ácidos orgánicos en frutos de tomate producidos en FC y en FY	58
Tabla 15: Análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación	60
Tabla 16: Vectores propios de muestras de frutos de FC y FY	61

RESUMEN

Los comercializadores de tomates tipo "Grape" basan la calidad en características físicas (color, tamaño, firmeza) y químicas ($^{\circ}$ Brix); pero los consumidores dan más importancia a los elementos sensoriales (olor y el sabor). Estos aspectos sensoriales están significativamente influenciados por factores agronómicos, entre ellos el tipo de sustrato utilizado en el cultivo. Desde esta perspectiva, se ha observado una discrepancia entre la calidad sensorial percibida por los consumidores y los $^{\circ}$ Brix ($^{\circ}$ Bx), por lo que la presente investigación aborda la percepción sensorial de los tomates "Grape" cultivados en sustratos de fibra de coco (FC) y yuca (FY), comparándolos con componentes volátiles y no volátiles, y asociándolos con los $^{\circ}$ Bx. Se realizó un análisis afectivo en 92 consumidores, observándose similitudes en aspectos como apariencia, textura, sabor y agrado general, con una ligera preferencia hacia los frutos de FY. Los tomates de FC se distinguieron por ser más dulces, manteniendo una acidez comparable a los de FY. Mediante un Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA), se identificaron 11 descriptores sensoriales. Los frutos de FC se caracterizaron por su dulzura y un aroma dulce/frutal, en contraste con el aroma verde y un mayor amargor en los frutos de FY. Desde el punto de vista fisicoquímico, ambos tipos presentaron características físicas similares, aunque se observaron diferencias en términos de firmeza (FC=4.4±0.2 y FY=4.9±0.1 N). En la composición química, los frutos tuvieron $^{\circ}$ Bx similares (FC=9.4 y FY=9.5), aunque se mostraron diferencias en azúcares reductores (FC=39.2±8.8 y FY=30.3±10.0 mg/g), flavonoides totales (FC=26.1±4.6 y FY=28.5±5.5 mg/100g) y el contenido de licopeno (FC=4.8±2.4 y FY=6.9±4.7 mg/100g). No se encontraron diferencias significativas en el contenido de ácidos orgánicos, pero el perfil volátil varió según el sustrato, encontrando que frutos de FY presentan volátiles apocarotenoides que contribuyen a la percepción de frescura, dulzura y notas frutales. Estos hallazgos sugieren complementar los $^{\circ}$ Bx, dada su limitada correlación con la calidad sensorial percibida por los consumidores.

Palabras Clave: Tomate Grape, Análisis Sensorial, $^{\circ}$ Brix, Compuestos volátiles orgánicos.

ABSTRACT

Marketers of 'Grape' type tomatoes base quality on physical characteristics (color, size, firmness) and chemical properties ($^{\circ}$ Brix); however, consumers place greater importance on sensory elements (smell and taste). These sensory aspects are significantly influenced by agronomic factors, including the type of substrate used in cultivation. From this perspective, a discrepancy has been observed between the sensory quality perceived by consumers and the $^{\circ}$ Brix. Therefore, this research addresses the sensory perception of 'Grape' tomatoes grown in coconut fiber (FC) and cassava fiber (FY) substrates, comparing them with volatile and non-volatile parameters, and associating them with $^{\circ}$ Brix. An affective analysis was conducted on 92 consumers, observing similarities in aspects such as appearance, texture, flavor, and overall liking, with a slight preference for FY fruits. FC tomatoes were distinguished by being sweeter, maintaining a comparable acidity to FY. Through a Quantitative Descriptive Analysis (QDA), 11 sensory descriptors were identified. FC fruits were characterized by their sweetness and a sweet/fruity aroma, in contrast to the green aroma and greater bitterness in FY fruits. From a physicochemical perspective, both types showed similar physical characteristics, although differences were noted in terms of firmness (FC=4.4 \pm 0.2 and FY=4.9 \pm 0.1 N). In chemical composition, the fruits had similar $^{\circ}$ Brix (FC=9.4 and FY=9.5), but differences were shown in reducing sugars (FC=39.2 \pm 8.8 and FY=30.3 \pm 10.0 mg/g), total flavonoids (FC=26.1 \pm 4.6 and FY=28.5 \pm 5.5 mg/100g), and lycopene content (FC=4.8 \pm 2.4 and FY=6.9 \pm 4.7 mg/100g). No significant differences were found in the content of organic acids, but the volatile profile varied according to the substrate, finding that FY fruits present apocarotenoid volatiles that contribute to the perception of freshness, sweetness, and fruity notes. These findings suggest complementing $^{\circ}$ Brix, given its limited correlation with the sensory quality perceived by consumers.

Keywords: Grape tomato, Sensory Analysis, $^{\circ}$ Brix, Volatile organic compounds.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate ocupa un lugar destacado en México, no solo por su significativo volumen de producción, que lo sitúa entre los diez principales productores a nivel mundial, sino también por ser el líder mundial en exportación, principalmente a Estados Unidos y Canadá (SIAP, 2022). Este éxito se atribuye en gran medida a los avances tecnológicos, que han incrementado los rendimientos y mejorado los parámetros de comercialización, impactando directamente en la calidad del producto. La calidad del tomate es un concepto multifacético, valorado por los comercializadores en función de parámetros físicos y químicos, como apariencia, color, textura, sólidos solubles totales (SST), acidez y azúcares; mientras que los consumidores la evalúan en términos de calidad sensorial. Esta última está definida por una red multisensorial, donde interactúan los cinco sentidos, siendo el sabor y el aroma fundamentales para la aceptación o rechazo del producto. Factores como la nutrición de la planta, prácticas agronómicas, condiciones climáticas y el tipo de sustrato influyen en la composición que estimula estos sentidos (Quinet *et al.*, 2019)

Desde una perspectiva de sustentabilidad, investigaciones anteriores han explorado la utilización de residuos agroindustriales en la producción hortícola, con resultados positivos en rendimiento y calidad general (Zúñiga López, 2022). Sin embargo, estudios han señalado que el tipo de sustrato orgánico en cultivos de invernadero puede afectar la composición y calidad sensorial de los frutos, impactando en la síntesis de metabolitos secundarios asociados con beneficios para la salud y mejorando atributos sensoriales.

Los compuestos clave para el sabor, mayormente solubles, pueden cuantificarse mediante los sólidos solubles totales (SST) y expresarse como grados °Brix. Este parámetro es esencial para los tomates tipo "Snack", caracterizados por su pequeño tamaño y sabor intenso, con estándares de 7-8 °Brix establecidos para los tomates "Grape" destinados a la exportación. El incumplimiento de este estándar tiene repercusiones económicas significativas, ya que puede obstaculizar la exportación. Debido a que existe una discrepancia entre los valores de °Brix y la calidad

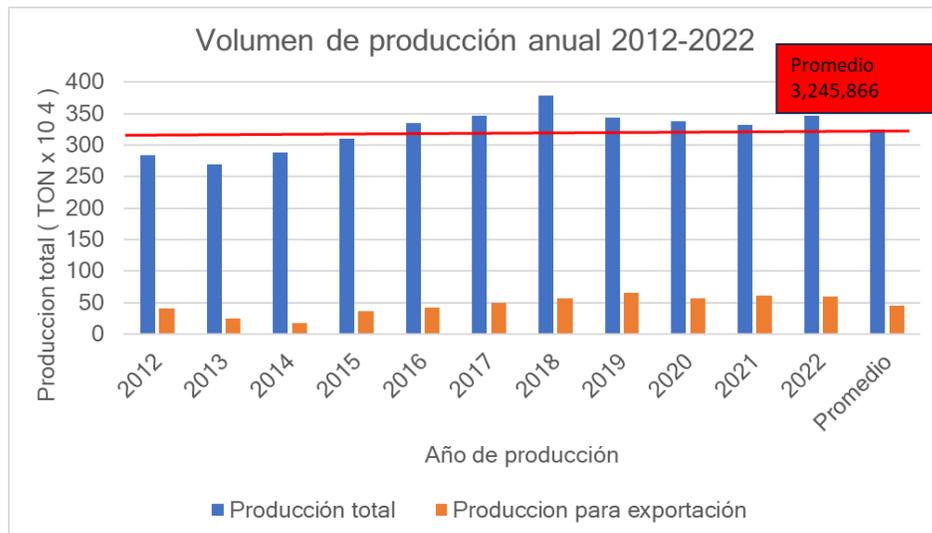
sensorial, ya que otros compuestos pueden influir en las mediciones refractométricas sin estar claros cuáles son los responsables del rechazo sensorial; este trabajo busca correlacionar la composición fisicoquímica, fitoquímica y el perfil volátil de los tomates con la aceptación sensorial y los valores de °Brix, evaluando cómo el tipo de sustrato orgánico afecta su calidad. El objetivo es contribuir a la reducción de pérdidas económicas por rechazo del producto y proponer nuevos sustratos como fuentes de alimentos sostenibles.

II. ANTECEDENTES

2.1. Generalidades del tomate

2.1.1. Importancia económica

El cultivo de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) es de gran relevancia para la economía nacional debido a que es una de las hortalizas de fruto más consumidas por la población y también una de las más comercializadas al nivel mundial; gracias a su amplia versatilidad de sus frutos que pueden consumirse frescos o procesados. En México, en el año 2021 se sembraron 49,287 hectáreas totales, con las cuales se obtuvo una producción de 3,461,766 toneladas. Esta producción fue 6.65 % superior al promedio de los últimos 10 años (Figura 1), la cual posicionó a México en el 9° productor mundial entre las 166 naciones que registraron datos para el cultivo de esta hortaliza.(SIAP, 2022).



A pesar de ser el 9° productor a nivel mundial; México destaca como el principal exportador de este fruto, alcanzando una producción de 598,600.22 toneladas. Esta notable posición en el mercado global es gracias a los avances tecnológicos que han impulsado un incremento significativo en el rendimiento y la calidad de la producción de tomate. El cultivo en invernaderos juega un papel crucial, ya que

permite implementar nuevas técnicas, además de tener un control más eficiente de los factores claves para el rendimiento y calidad del tomate (Paucek *et al.*, 2020). En México, la producción de tomates bajo condiciones protegidas se distribuye en tres categorías principales: macro túnel, que representa el 1% de la producción total, malla sombra con un 36%, y los invernaderos, que comprenden el 63% restante; estos últimos son especialmente relevantes para el país, dado que constituyen la mayoría de los productos destinados al mercado de exportación (SIAP, 2022).

2.1.2. Cultivo orgánico vs cultivos convencional

La producción bajo sistemas protegidos y en particular bajo invernadero, es el sector productor de tomate que tiene mayores rendimientos en México; y esto se debe en parte a que existe un mayor control en la variabilidad de los factores genéticos (variedad), ambientales (temperatura, luz, irrigación) y culturales (fertilización del suelo, tipo de suelo o sustrato, la poda) (Escobar, 2012), además del aprovechamiento del suelo o del sustrato y otros recursos como el agua de manera más eficiente (Dorais *et al.*, 2008; Pérez & Coto, 2019). En condiciones de invernadero existen dos sistemas de producción: orgánico y convencional, donde la diferencia entre estos radica en el manejo del ecosistema, la forma de cultivar o procesar los productos, y principalmente en el uso de aditivos agronómicos utilizados: como fertilizantes, pesticidas; así como el uso de técnicas emergentes como irradiación de la semilla, las modificaciones genéticas a la misma, que no están permitidas para el cultivo orgánico (FAO, 1999; Pilipavicius, 2014).

En términos ecológicos, el uso desmedido de químicos en cultivos convencionales ha ocasionado una contaminación y desbalance en el ecosistema, mismo que se traduce en frutos y hortalizas con posibles residuos agrotóxicos, que a su vez se relacionan con enfermedades endémicas como el cáncer o desordenes congénitos (Bassil *et al.*, 2007; Sanborn *et al.*, 2007; Katt & Meixner, 2020). Sin embargo, la demanda de tomate en el mercado es alta, por lo que es necesario cubrir las necesidades del mercado con elementos que ayuden a mejorar rendimientos. En este contexto, cultivos convencionales en invernadero tienen mejores rendimientos,

gracias al control de factores precosecha, a los sistemas de producción estandarizados, a la inclusión de variedades genéticas con larga vida de anaquel, además de la reducida mano de obra (en comparación con el cultivo orgánico); por esta razón el cultivo convencional sigue en la vanguardia de la industria tomatera (Araujo & Telhado, 2015). Las prácticas agronómicas influyen en la composición fisicoquímica de los frutos de tomate; el grado de estrés al que está sometida la planta puede promover la síntesis de ciertos metabolitos primarios o secundarios, mismos que aumentan la calidad nutrimental y sensorial del fruto (Davies *et al.*, 1981; (Coyago-Cruz *et al.*, 2018); Distefano *et al.*, 2022).

2.1.3. Cultivo en sustratos orgánicos

En los últimos años, la agricultura ha experimentado un cambio significativo con la adopción de sustratos orgánicos en lugar de suelo tradicional (Koviessen *et al.*, 2023) y esta práctica ofrece múltiples ventajas, destacando principalmente el control más efectivo de factores cruciales para la calidad de los productos finales. Entre los beneficios más notables se encuentra el aumento en los rendimientos, que se traduce en una producción más eficiente y rentable; además de la mejora en la calidad composicional de los frutos, lo que es esencial para mantener la competitividad en el mercado (Kyriacou & Roupael, 2018).

Otro aspecto importante es la posibilidad de tener disponibilidad de productos durante todo el año, lo que permite a los agricultores satisfacer la demanda constante y expandirse a nuevos mercados. Además, estas técnicas promueven un uso más consciente y eficiente de los recursos hídricos, un factor crucial dada la creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental. En conjunto, estas innovaciones representan un paso adelante significativo en la agricultura moderna, alineando la producción con los principios de sostenibilidad y eficiencia.

El sustrato hortícola se define como un material sólido utilizado como un medio de cultivo alternativo al suelo, ya sea de origen natural o sintético, mineral u orgánico. Este sustrato es colocado en un contenedor y desempeña un papel fundamental al proporcionar un anclaje adecuado para el sistema radicular de las plantas; además,

permite el intercambio de gases necesario para el correcto funcionamiento de las raíces (Torres *et al.*, 2017).

Actualmente existe una tendencia hacia la búsqueda de materiales que puedan servir como sustratos orgánicos, además de poder disminuir los residuos agroindustriales generados por algunas empresas. En ese sentido, las características físicas, químicas y biológicas de los sustratos, influyen en la composición de los frutos y por ende en la calidad (Urrestarazu *et al.*, 2005). Una de las fibras orgánicas muy utilizada como sustrato por excelencia es la fibra de coco (*Cocos nucifera* L.), la cual está compuesta de celulosa, hemicelulosa y lignina. Debido a su alto contenido de lignina, estas fibras tienen una tasa de descomposición muy lenta y tiene las propiedades físicas y químicas adecuadas para permitir el suministro de los nutrientes necesarios a la planta (Araújo de Almeida & Colombo, 2021).

Alineado a la producción sostenible, en trabajos previos del grupo de investigación se evaluó el potencial de la fibra de yuca (*Yucca schidigera*) como sustrato en la producción de pepino. El material lignocelulósico que se genera como residuo agroindustrial (la corteza de la planta, un polvo grueso y el bagazo) actualmente, no tiene un adecuado manejo y se estima que se generan aproximadamente 9,000 toneladas anuales de residuos en peso seco (Flores Ramírez, 2017). Los resultados reportados por Zúñiga López (2022) muestran que los parámetros fisicoquímicos de la fibra de yuca son similares a los de la fibra de coco comercial, siendo valores que están dentro de los establecidos para sustratos (Tabla 1) ((Schafer & Lerner, 2022). La incorporación de la fibra de yuca en la producción de productos hortícolas como sustrato da un valor agregado, ya que se disminuye la contaminación ambiental y puede generar beneficios sociales y económicos.

2.1.4. Variedades de tomates tipo “snack”

Según el tamaño del fruto, existen variedades de fruto pequeño tipo “snack”, como el cherry y el “Grape”, de frutos medianos como el cocktail y de frutos grandes como el saladette o roma (Figura 2) (Castellanos, 2009, Nature Fresh Farms, 2020).

Tabla 1: Características físicas y químicas de la fibra de coco (FC) y de yuca (FY)

Parámetro	FC	FY
CE (dS/cm)	2.46 ± 0.47	1 ± 0.21
pH	5.60 ± 0.26	5.20 ± 0.22
CIC (meq/100g)	76.42 ± 0.64	56.53 ± 0.54
% cenizas	6.88 ± 0.83	3.23 ± 0.55
Relación C/N	181.14 ± 5.30	258.31 ± 10.14
Porosidad total (PT) (%)	77.67 ± 1.94	78.84 ± 0.89
Porosidad de aireación (%)	25.05 ± 3.75	49.97 ± 1.10
Capacidad de retención de agua (%)	52.63 ± 1.91	31.87 ± 0.29
Densidad aparente (g/cm³)	0.097 ± 0.01	0.090 ± 0.01
Densidad real (g/cm³)	0.43 ± 0.01	0.47 ± 0.02

(Zúñiga López, 2022)

La diversidad en sus características sensoriales y de composición en frutos de tomate, permite tener frutos para diferentes fines; algunos se prefieren utilizar para procesarse como salsas y purés; mientras que la mayoría se consumen frescos. El tomate tipo “snack”, es la tipología que más ha evolucionado en los últimos años, debido a su gran demanda; dentro de este segmento, podemos incluir a variedades como Cherry, Pera, “Grape o uva” e incluso tamaños más grandes como el denominado coctel (Horticultura, 2016). El aspecto del tomate es fundamental para la aceptación del consumidor y en temas de exportación se tienen diferentes formas de frutos, como los redondos o bola, en forma de uva, en forma de pera y de forma indefinida (Agr, 2018; Wien & Stützel, 2020). El tomate "Grape" es reconocido como la variedad más pequeña dentro de las tipos alargados de tomate. Esta variedad ha ganado una considerable importancia en el mercado, especialmente en el ámbito de la exportación, debido a su alta demanda. Uno de los factores clave de su popularidad es su notable dulzura y sabor distintivo, que lo diferencia de otras variedades de tomate. Además, los tomates "Grape" son ricos en fitonutrientes

beneficiosos para la salud, como el licopeno, la vitamina C y el β -caroteno. En términos de tamaño, su peso varía entre 7 y 14 gramos, y la proporción entre su diámetro y longitud oscila entre 1:3 y 1:2. Otro aspecto atractivo de esta variedad es que está disponible en diversos colores, lo que amplía su atractivo en el mercado (Infoagro, 2019).

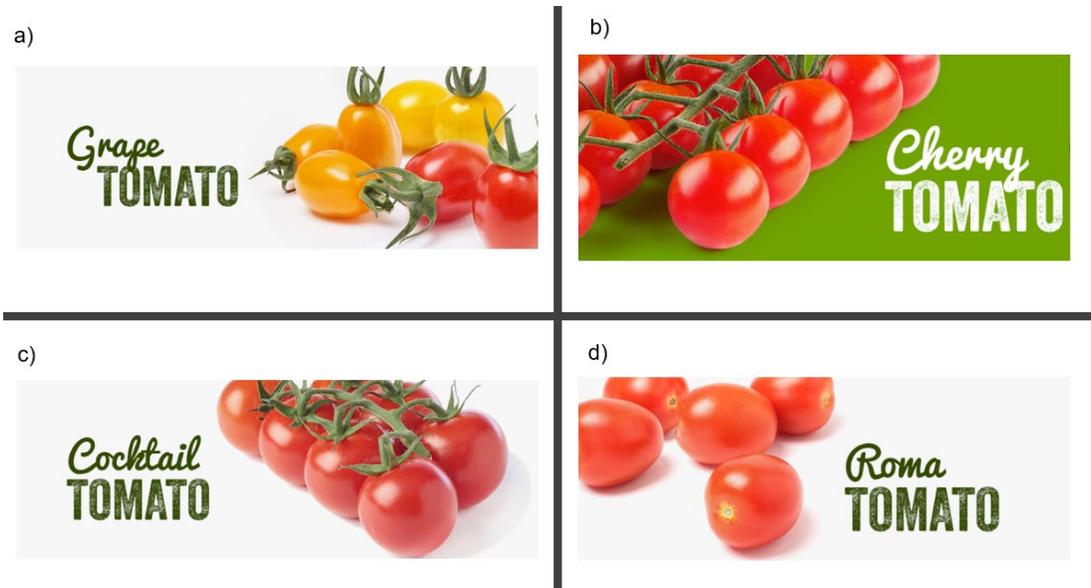


Figura 2: Variedades de tomate producidas en México para exportación, tomada de (Nature Fresh Farms, 2020)

2.1.5. Maduración de los frutos de tomate

El tomate al ser un fruto climatérico se cosecha en un estado de madurez fisiológica (ripening) donde el fruto ha acumulado la mayoría de los metabolitos necesarios para su posterior maduración de consumo (maturity); se ha reportado que suceden cambios importantes en la fisiología y bioquímica del fruto maduro (Tabla 2), que se reflejan en todos los tejidos del mismo y están asociados con cambios en el color, olor, sabor y la textura (Hobson & Grierson, 1993; Sozzi *et al.*, 2007; Escobar, 2012; Loarca-Martínez, 2016; Baek *et al.*, 2020).

Tabla 2: Cambios relacionados con la maduración fisiológica de tomate

Parámetro	Cambio
Color	Degradación de clorofila; desintegración de los complejos de captación de luz y la disolución los cloroplastos de la lamela. Acumulación de β -caroteno y licopeno en plástidos.
Textura	Reducción del contenido de galactano, arabanos y poliuronidos de las paredes celulares; solubilización de complejos calcio-pectina, particularmente la solubilización y depolimerización parcial de poliuronidos; pérdida de densidad electrónica en la lamela media y erosión de la pared celular observada en estudios de microscopía electrónica y de luz.
Sabor y olor	Disminución del ácido málico e incremento del ácido cítrico; despolimerización y degradación de almidón en azúcares libres; destrucción de glicoalcaloides como la α -tomatina; reducción en contenido de polifenoles y poliamidas; incremento de compuestos volátiles.
Otras respuestas fisiológicas	Disminución del volumen citoplasmático; incremento de la conductividad eléctrica; redistribución de los iones K^+ entre los compartimentos celulares; disminución del contenido de fosfolípidos.
Actividad enzimática	Incremento en la actividad de las enzimas invertasas (EC 3.2.1.26); enzima málica, β 1:4 gluconasas (EC 3.2.1.4), endopoligalacturonasas (EC 3.2.1.15), fosfofructoquinasas (EC 2.7.1.11), ACC sintasa (EC 4.4.1.14), entre otras.

*Tabla adaptada de (Hobson & Grierson, 1993)

Una vez cosechados los frutos, los cambios en el color se utilizan como indicador de madurez comercial, la USDA desde 1975 ha establecido 6 etapas (USDA, 1975) (Figura 3). Aunado a los cambios en el color, también se presentan una diversidad de cambios en el interior del fruto, los cuales están asociados a degradaciones o síntesis de compuestos que favorecen el gusto sensorial del consumidor; estos cambios se describen en la Tabla 3.

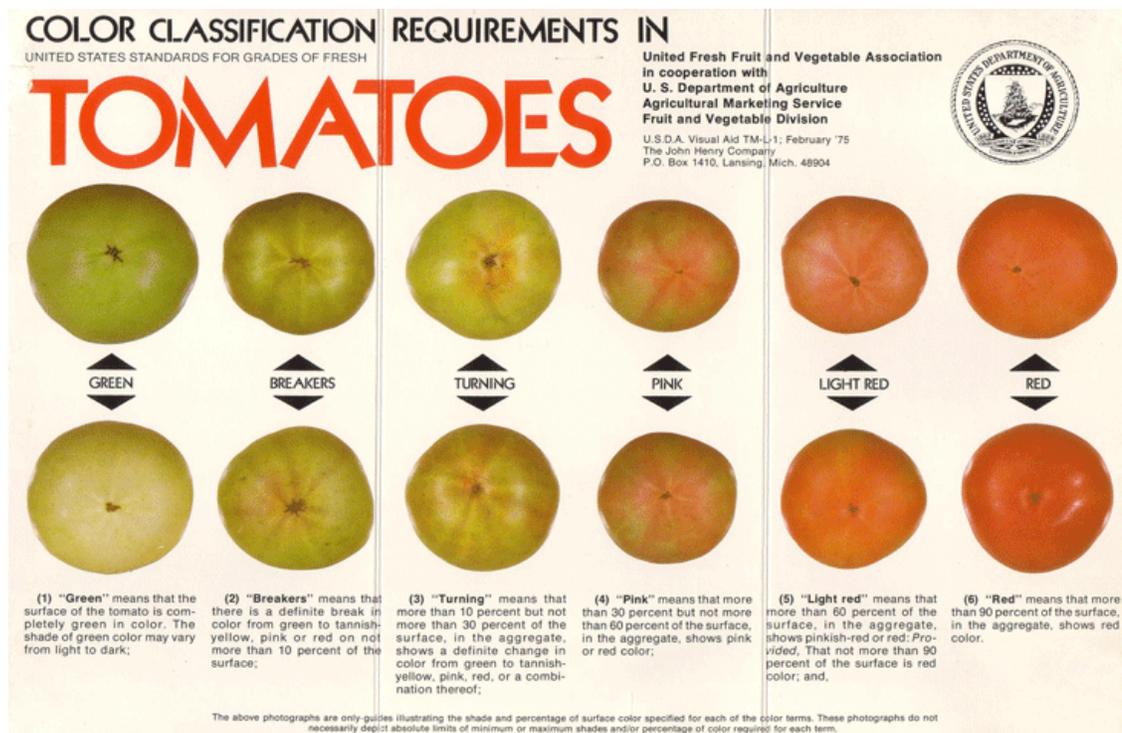


Figura 3: Etapas de madurez comercial según el color en frutos de tomate tomado de (USDA, 1975)

El término "madurez comercial" para el consumo de tomate en fresco, se utiliza para señalar la mayor calidad sensorial; en esta etapa se busca cierta firmeza, olores y sabores característicos, los cuales son un color rojo intenso, una textura firme y un sabor balanceado entre los ácidos y azúcares presentes. Entre la madurez fisiológica y la madurez comercial se tiene una ventana de tiempo, que hace posible la comercialización de producto en mercados distantes (Kader, 1999).

2.1.6. Maduración de los frutos de tomate

Los frutos de tomate se caracterizan por ser una fuente importante de compuestos que aportan beneficios a la salud; su balance en el contenido de minerales y antioxidantes como la vitamina C y E, el licopeno, el β -caroteno, la luteína y flavonoides, hace de este producto un elemento esencial en la dieta para prevenir enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cánceres. Añadido a esto, brinda un modesto aporte calórico, ya que su composición mayoritaria es agua (92 - 95 %) y poca materia seca (5 - 7.5%) (Hobson & Grierson.,1993; Dorais *et al.*, 2008).

Tabla 3: Cambios en la composición de frutos de tomate durante su maduración comercial

Componente	Cambio
Almidón	Este se hidroliza en su mayor parte en la maduración, dejando en su lugar azúcares reductores y sacarosa.
Azúcares simples	Aumentan su contenido y en frutos maduros, estos representan alrededor de la mitad de la materia seca. Mayoritariamente corresponde a glucosa y fructosa en cantidades similares.
Ácidos orgánicos	La acidez máxima se encuentra en la etapa de color rosa y posteriormente disminuye, ya que el ácido málico disminuye, el cual es un compuesto que se percibe como “más ácido”. Por su parte el contenido de ácido cítrico aumenta en tomates maduros, gracias a que es un compuesto estable.
Compuestos proteicos	Estos se encuentran en poca cantidad (0.48-0.55 % en tomates maduros); sin embargo, juegan un papel importante en la maduración. La mayoría son enzimas, dentro de las cuales destaca la poligalacturonasa, asociada con los cambios en textura y firmeza del fruto.
Compuestos volátiles	El aumento de los compuestos volátiles está asociado con el aumento de la respiración, dentro de los cuales destacan hidrocarburos, ésteres, fenoles, aldehídos, alcoholes, cetonas, éteres, compuestos sulfurados, aminas y varios componentes heterocíclicos.
Pigmentos	El color verde de frutos inmaduros se debe a la clorofila, la cual se degrada con el inicio de la maduración, dando paso a compuestos como xantofilas y carotenos, destacando el licopeno y β caroteno. El color rojo se debe en su mayoría al licopeno.

(Davies *et al.*, 1981; Nuez, 1995; Moneruzzam *et al.*, 2008; Loarca-Martínez, 2016)

En un fruto maduro de tomate, la materia seca reportada en la literatura está compuesta por azúcares reductores (glucosa y fructosa), que aporta hasta la mitad de la materia seca (45 – 50 %), sacarosa que aporta aproximadamente el 1 % y ácidos como el cítrico y málico en un 9% y 4 % respectivamente; estos son los principales constituyentes que aportan el gusto de tomate. Por su parte, los

compuestos volátiles que componen el aroma del tomate complementan los componentes gustativos para dar el sabor característico del fruto entero. Se han reportado más de 400 compuestos volátiles que contribuyen al olor característico de un tomate (Hobson & Grierson, 1993). También se encuentran otros componentes como las proteínas (8 %), lípidos (2 %), minerales (8 %), pectinas (7 %), celulosa (4 %), hemicelulosa (6 %), entre otros (Figura 4).

Se ha reportado que los azúcares se localizan en las paredes del tomate y esta alcanza su máxima cantidad cuando la fruta llega a su madurez comercial. Por otra parte, los ácidos orgánicos se encuentran en el lóculo. El ácido málico que se encuentra inicialmente en grandes cantidades en el tomate se reduce drásticamente a medida que la fruta madura y se vuelve roja; también el ácido cítrico, el cual es más estable, se mantiene dentro del contenido del locus. Estas diferencias en los constituyentes son muy importantes ya que la relación ácido-azúcar juegan un rol determinante en el sabor y por ende la calidad del tomate (Malundo *et al.*, 1995). De esta manera tomates con alto contenido de azúcares y ácidos orgánicos son más aceptados por la percepción final del consumidor (Davies *et al.*, 1981). El contenido de la materia seca depende en gran medida de la temporada, la nutrición y el medio ambiente, mientras que la concentración de varias vitaminas depende de los niveles de luz. La absorción de muchos elementos es el resultado de una compleja serie de interacciones con el entorno, el pH del medio de cultivo y con los otros elementos presentes. Si bien es importante resaltar que el tomate tiene un contenido bastante alto de fibra, vitaminas A, C y ácido fólico, su composición puede variar en concentraciones dependiendo de la variedad cultivada (Dorais *et al.*, 2008).

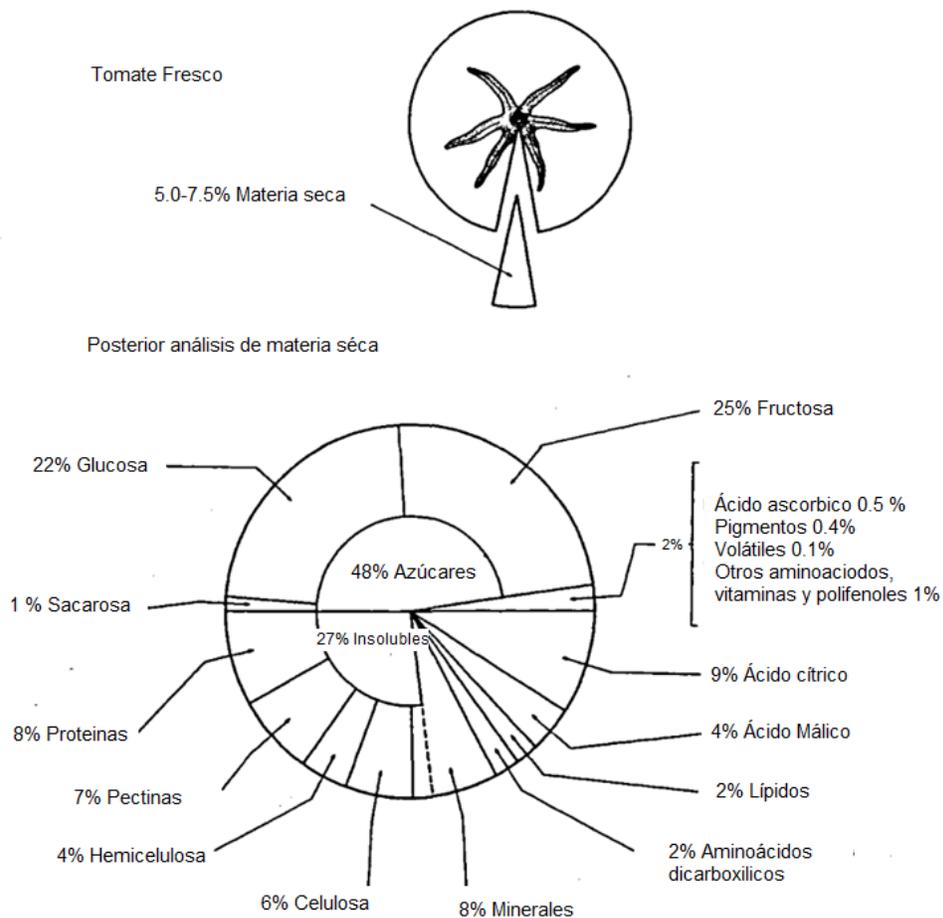


Figura 4: Composición de tomate, adaptado de Davies *et al.* (1981)

2.1.6.1. Sólidos solubles totales (azúcares y ácidos orgánicos)

El mayor constituyente de los sólidos solubles totales (SST) en tomate son los azúcares simples y dependen en gran medida de la tasa de acumulación de almidón durante la fase de desarrollo de la fruta (Hobson & Grierson., 1993; Nuez, 1995). Los productores tomateros con los años de experiencia y con los nuevos desarrollos de herramientas tanto destructivas como no destructivas han encontrado mediciones que ayudan a determinar el punto de madurez fisiológica del tomate y aportan tiempos determinados para la cosecha (Radzevičius *et al.*, 2016). Actualmente, las mediciones más usadas en la industria son aquellas fáciles de ejecutar y económicamente accesibles; por lo que los componentes primarios

encargados del sabor, como los azúcares reductores y los ácidos orgánicos, se miden mediante un refractómetro ya que son completamente solubles (SST) y se expresan como °Brix (Bladwin *et al.*, 1998).

Magwaza & Opara (2015) reportaron diferentes métodos analíticos para la determinación azúcares en diferentes frutos y hortalizas, estos azúcares se relacionan con el carácter dulce del producto; así como también reportan que el coeficiente de dulzor y acidez de los compuestos es diferente, ya que algunos compuestos se perciben más dulces que otros, o más ácidos que otros; por ejemplo, la fructosa se percibe más dulce que la glucosa, y de igual manera el ácido málico se percibe más ácido que el ácido cítrico. Si tomamos en cuenta que para el consumidor final un tomate con mayor cantidad tanto de azúcares, acompañada de cierta cantidad de ácidos orgánicos es lo deseable (Malundo *et al.*, 1995), aquel fruto que tenga mayor cantidad de fructosa y de ácido málico sería de mayor agrado; sin embargo, la calidad sensorial de un tomate depende de más factores que solo los componentes primarios; las interacciones de los metabolitos son importantes. (Tieman *et al.*, 2012).

2.1.6.2. Fitoquímicos en frutos de tomate

Además de los nutrientes mayoritarios que ofrece el fruto de tomate (carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales); existen otros componentes bioactivos conocidos como fitonutrientes, que juega un rol importante en la salud humana. Algunos de los fitonutrientes bioactivos importantes que existen en los alimentos son los polifenoles, terpenoides, resveratrol, flavonoides, isoflavonoides, carotenoides, limonoides, glucosinolatos, fitoestrógenos, fitoesteroles, antocianinas, ácidos grasos ω -3 y prebióticos (Gupta & Prakash, 2014). Estos tienen efectos específicos en la salud humana, como antimicrobianos, antioxidantes, antiinflamatorios, antialérgicos, antiespasmódicos, anticancerígenos, antienviejamiento, ente otros. Los fitonutrientes en tomate (ácido ascórbico, carotenoides, licopeno, compuestos fenólicos y flavonoides) están asociados con muchos beneficios a la salud, ya sea por su capacidad antioxidante, que neutralizan

radicales libres dañinos, o porque modulan las funciones del sistema inmunológico para prevenir enfermedades. La búsqueda de tomates con un mayor contenido de estos compuestos es relevante para obtener un producto de mayor calidad nutricional y esto se puede lograr mediante la selección de cultivares, el manejo de los factores ambientales y de las prácticas agronómicas (Quinet *et al.*, 2019).

2.1.6.3. Ácido ascórbico (vitamina C) en frutos de tomate

El ácido ascórbico o vitamina C, es un ácido orgánico esencial en la nutrición humana, debido a que el ser humano es incapaz de sintetizarlo, por lo que su ingesta a través de la dieta es fundamental (Mellidou *et al.*, 2021). En los frutos de tomate su contenido puede variar de 10 a 40 mg/100 g (Mellidou *et al.*, 2012) y es sintetizado principalmente a través de la vía metabólica llamada L-galactosa. Esta vía se produce durante la maduración del fruto e involucra precursores de la pared celular de polisacáridos y glicoproteínas (Smirnoff, 2000). Por otro lado, se ha reportado que el estrés en el que se encuentra la planta tiene un efecto positivo en el contenido vitamina C, ya que este compuesto se sintetiza como respuesta de la planta contra estímulos ambientalmente adversos (Rosales *et al.*, 2011).

2.1.6.4. Carotenoides en frutos de tomate

Los carotenoides son esenciales para determinar la calidad del tomate; estos están asociados con el color del mismo y ofrecen grandes beneficios a la salud, gracias a su capacidad antioxidante. Dentro de los compuestos más importantes se encuentran el licopeno y el β -caroteno, mismos que se generan a partir de la degradación de clorofilas en el fruto maduro (G. Hobson & Grierson, 1993; Canene-Adams *et al.*, 2005)

El licopeno (Figura 5) es el encargado del color rojo de los tomates derivado de la conversión de los cloroplastos en cromoplastos. Se ha reportado que el consumo de tomate está asociado con un menor riesgo de enfermedades crónicas como el

cáncer y las enfermedades cardiovasculares debido al contenido de licopeno (Gupta & Prakash, 2014). Los niveles de licopeno sérico y tisular también se han relacionado con beneficios por mecanismos como la modulación del sistema hormonal e inmunológico (García-Closas *et al.*, 2004; Gupta & Prakash, 2014).

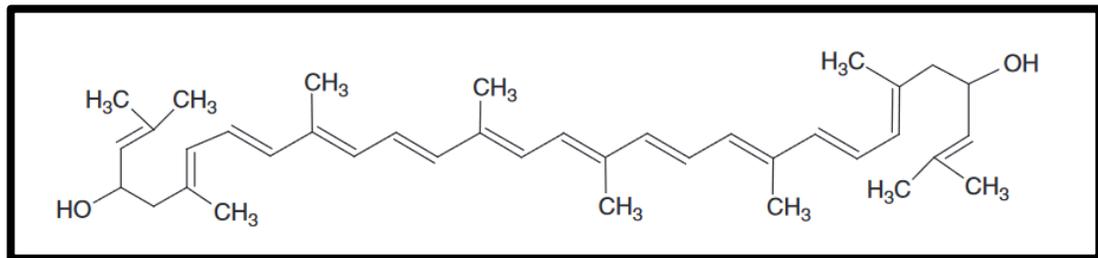


Figura 5: Estructura química Licopeno, tomada de Gupta & Prakash (2014)

El β -Caroteno (Figura 6), también llamado provitamina A, es un fotoprotector que actúa en la fotosíntesis como pigmento sensible a la luz, pero es de menor importancia nutricional que el licopeno, ya que constituye solo el 7 % del contenido total de carotenoides de la fruta. El licopeno, β -caroteno, compuestos fenólicos y ácido ascórbico destacan por su capacidad antioxidante, ya que pueden atacar a las especies reactivas de oxígeno (ROS) y prevenir los cambios oxidativos en el cuerpo humano (Bilton *et al.*, 2001).

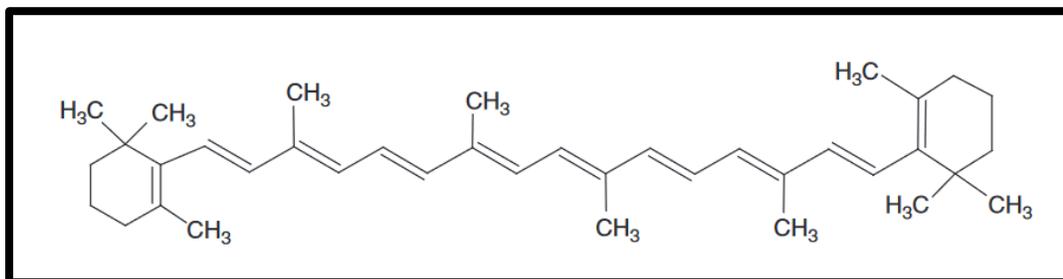


Figura 6: Estructura química del β -caroteno, tomada de Gupta & Prakash (2014)

Se ha demostrado que las temperaturas superiores a 30-35 °C y la fuerte radiación solar inhiben la síntesis de licopeno y estimulan su oxidación a β -caroteno; la degradación de β -Caroteno se intensifica de 35 a 40 °C. Esto es importante a

considerar durante el desarrollo del cultivo en condiciones de invernadero (Rosales *et al.*, 2011).

2.1.6.5 Compuestos Fenólicos en frutos de tomate

Los compuestos fenólicos reportados en el tomate son ácidos fenólicos (ácidos cafeicos, clorogénico, sináptico, *p*-cumárico y ferúlico) y flavonoides (quercetina, rutina, kaempferol y naringenina). La acumulación de flavonoides ocurre durante la maduración en tomates, con una disminución en el contenido de clorofila y maduración de las cáscaras. La quercetina y el ácido clorogénico son los flavonoides más abundantes en el tomate (Sharma *et al.*, 2018). Por otra parte, los compuestos fenólicos, están más asociados a la planta que al fruto; sin embargo, los frutos contienen pequeñas cantidades concentradas en el epicarpio del fruto. La quercetina-3-rutinósido está presente en pequeñas cantidades (15 pg/g de peso fresco), además se ha identificado la presencia de kaempferol-3-rutinósido, quercetina-3-glucósido y algunos triglicéridos. En general, las concentraciones disminuyen a medida que el tomate madura.

2.1.6.6 Perfil de volátiles en frutos de tomate

El aroma distintivo del tomate surge durante la maduración, cuando enzimas como la lipoxigenasa transforman lípidos y otros compuestos, creando más de 400 compuestos orgánicos volátiles (VOC, volátil organic compounds, por sus siglas en inglés). Sin embargo, solo alrededor de 30 de estos son claves para el sabor característico del tomate. Estos compuestos volátiles pueden generarse a partir de diferentes sustratos, como lípidos, aminoácidos, carotenoides, terpenoides y ligninas (Buttery & Ling, 1993; Vogel *et al.*, 2010). El *cis*-3-hexanal, es uno de los compuestos volátiles más importantes que contribuyen al “flavor” de tomate, estudios sensoriales descriptivos han relacionado este compuesto positivamente con la percepción afrutada y atomatada del fruto; y a su vez disminuye la percepción de la astringencia (Tandon *et al.*, 2003; Distefano *et al.*, 2022).

El diseñar tomates mejorados en “flavor” ha resultado ser una tarea difícil, ya que involucra una red poli genética que es altamente influenciada por factores externos como los factores ambientales, manejo del cultivo, maduración del fruto, entre otros (Distefano *et al.*, 2022). Aunado a esto, las bajas concentraciones en las cuales están presentes los compuestos aromáticos (pico molares o nano molares) dificultan el entendimiento de su contribución en la red que compone el “flavor”. Se ha reportado que al menos 16 volátiles del fruto de tomate son importantes en el tomate, incluyendo cis-3-hexenal, hexanal, 3-metilbutanal, 1-penten-3-ona, β -damascenona, 6-metil-5 hepten-2-ona, cis-3-hexenol, 2-feniletanol, trans-2-hexenal, trans-2- heptanal, 2-fenilacetaldehído, β -ionona, 3-metilbutanol, 1-nitro-2-feniletano, 2-isobutiltiazol y salicilato de metilo (Wang *et al.*, 2016). Es importante mencionar que los VOC’s, más que tener un efecto por adición, es decir que se sumen unos con otros, son más dependientes de la matriz en la que se encuentran y de las interacciones generadas con otros compuestos presentes. Asimismo se reporta que la existencia de interacciones significativas entre compuestos volátiles y no volátiles en los tomates, particularmente con azúcares y ácidos orgánicos, que pueden alterar la percepción del compuesto volátil (Baldwin *et al.*, 2008). También existe evidencia de que algunos volátiles aromáticos (por ejemplo, los volátiles apocarotenoides cíclicos) ayudan en la mejora de la percepción de la dulzura del tomate, independientemente de la concentración de azúcares, lo que indica una mejora distinta en la percepción del sabor de los frutos de tomate (Tieman *et al.*, 2012).

2.2 Parámetros de calidad poscosecha en tomate fresco

La demanda de calidad para el fruto de tomate cada vez es mayor, y para que México continúe en la vanguardia de exportación, debe de cumplir con diferentes estándares de calidad. En cuanto a la calidad del fruto se engloban un conjunto de parámetros que determinan si el producto es apto o no para el consumo. En este sentido, los parámetros se encuentran relacionados con el sabor, color, aroma, calibre, firmeza, sólidos solubles ($^{\circ}$ Bx), acidez titulable (Renquist & Reid, 1998;

Morales, 2021). Además de estos parámetros de calidad composicional, la mayoría de las empresas comercializadoras definen la calidad de los tomates en base a elementos que simulan el primer acercamiento del consumidor con el producto; atributos externos como color, forma, tamaño, presentación y el estado de madurez son muy importantes en la aceptación del consumidor (Felföldi *et al.*, 2021).

2.3 Normatividad para el comercio de tomate

La normatividad de un cultivo tiene como objetivo cumplir con ciertos parámetros medibles que aseguren la inocuidad y calidad de un producto. La calidad del tomate se puede agrupar en 3 parámetros principales, los cuales son calidad física, calidad nutricional y calidad sanitaria. En relación con la calidad física de los frutos, se evalúan parámetros extrínsecos, teniendo mayor impacto los daños visuales en el producto (SAGARPA, 2005). En temas de calidad sanitaria es imperativo señalar que cualquier fruto, ya sea destinado para consumo en fresco o procesado, debe contar con buenas prácticas de higiene en su vida pre y post cosecha; por tal motivo, se hacen muestreos aleatorios a lotes, para verificar que estos parámetros se cumplan; además, el producto deberá aprobar los criterios microbiológicos establecidos de conformidad con los Principios para el Establecimiento y la Aplicación de Criterios Microbiológicos a los Alimentos (CAC/GL 21-1997) (FAO, 2008). Por su parte, la calidad nutricional es un atributo que gana más importancia, debido a una mayor conciencia e interés por parte del consumidor, ya que la alimentación tiene repercusiones en la salud y por consiguiente, el consumir alimentos con un mayor contenido nutricional y un aporte benéfico a la salud se ha vuelto un parámetro decisivo de compra (Katt & Meixner, 2020).

Además de las normativas gubernamentales a nivel nacional e internacional, las empresas productoras y comercializadoras establecen en sus contratos de trabajo acuerdos específicos sobre estándares de calidad que los productores deben cumplir. Esto incluye, por ejemplo, alcanzar un contenido mínimo de 7 °Brix en variedades de tomate como Grape y Cherry, que son principalmente destinados al mercado de exportación. En caso de que un proveedor no cumpla con estos criterios

de calidad, el producto es rechazado y destinado al mercado local. Dado que los tomates frescos son susceptibles a factores externos como temperatura, vibración y luz, el no cumplir con los estándares de calidad puede resultar en pérdidas significativas para el productor.

2.4 Evaluación sensorial de tomate en poscosecha

La percepción de alimentos se basa en una red multisensorial, donde entran en juego los 5 sentidos; oído, olfato, tacto, vista y gusto. Los estudios sensoriales de hortalizas para consumo en fresco se basan en la interacción de estos factores, resaltando los atributos del “gusto” y “flavor” (olfato y gusto) (Hoppu *et al.*, 2021). Mediante evaluaciones sensoriales es posible analizar la calidad y aceptación de los alimentos; y para tomate, la calidad sensorial no se puede predecir únicamente en base a la composición química. Por otro lado, el aumento en el conocimiento de los estímulos que generan los compuestos químicos, tanto en receptores de boca como a través del olfato retronasal, permite identificar los componentes principales que influyen en el “flavor” (Bartoshuk & Klee, 2013). El uso de diversos tipos de pruebas sensoriales permite obtener una mejor evaluación; en este sentido las pruebas discriminativas y descriptivas son las más pertinentes (Sirangelo, 2019). El “gusto” y el “flavor” son conceptos diferentes, mientras que el “gusto” del tomate, está determinado por sus mayores constituyentes: los azúcares libres y ácidos orgánicos; el “flavor” lo determinan más los compuestos volátiles. Los compuestos del gusto son percibidos en la lengua, mientras que los compuestos del “flavor” son detectados en la nariz tanto frontal como retronasal; la relación de estos componentes hace que un tomate se perciba con un mejor sabor y por consiguiente tenga una mejor aceptación en el mercado (Hobson *et al.*, 1993; Yara, 2018).

La evaluación sensorial implica el uso de los sentidos de los panelistas, ellos como herramienta de medición, son susceptibles a variaciones en el tiempo y entre ellos, además pueden ser altamente influenciados; por lo que se menciona que es necesario hacer mediciones repetidas y con suficientes participantes, para que los resultados sean representativos. Sin embargo, esto depende de la prueba a usarse;

las pruebas sensoriales son de 3 tipos: afectivas, discriminativas y descriptivas, Las primeras hacen uso de consumidores; mientras que las discriminativas requieren de mayor sensibilidad en los panelistas, de ahí que se deben entrenar; por otro lado, las pruebas descriptivas son más rigurosas y estrictas, requieren de panelistas con conocimientos en el producto a evaluar y debe respetar las diferentes reglas y parámetros que gobiernan las actitudes del panel y por esta razón es necesario entrenar y reentrenarlos, además se debe asegurar la reproducibilidad del estudio (Meilgaard *et al.*, 1991).

III. JUSTIFICACIÓN

La calidad de los productos hortícolas se puede medir fisicoquímicamente mediante análisis de compuestos, pero la calidad sensorial, determinada por el consumidor, es igualmente crucial. El "flavor" (sabor y aroma) es un parámetro esencial para el consumidor, influenciado por la presencia y concentración de diversos compuestos. Estos compuestos, a menudo solubles en agua, pueden evaluarse mediante pruebas como el índice de refracción (IR), donde una mayor concentración de sólidos solubles totales (SST) incrementa el valor del IR. Los azúcares libres, predominantes en frutos, se miden tradicionalmente como °Brix (°Bx) para evaluar la calidad, pero en tomates, otros solutos en los SST también afectan el IR y, por ende, el perfil de "flavor". Los tomates tipo "Grape" cultivados en invernadero con sustratos orgánicos pueden presentar variaciones en su composición química y perfil sensorial. En la industria, el contenido de SST, estandarizado en 7 °Bx para tomates "Grape" de exportación, es un indicador de calidad sensorial. El incumplimiento de este estándar puede acarrear pérdidas económicas. La presente investigación se enfoca en el impacto de sustratos orgánicos, específicamente de fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) y yuca (*Yucca Schidigera*), en la calidad física, composición química, especialmente los SST, y el perfil aromático de tomates "Grape". Se busca entender su relación con la aceptación sensorial, contribuyendo así a la producción sostenible de hortalizas y a reducir las pérdidas económicas derivadas de la discrepancia entre la aceptación sensorial y los métodos analíticos, en particular los °Bx.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar la asociación de la composición fisicoquímica, fitoquímica y volátil con el valor de °Bx y la percepción sensorial de tomates tipo “Grape” producidos convencionalmente en sustrato orgánico de coco (*Cocos nucifera* L.) y de yuca (*Yucca schidigera*). Este análisis busca esclarecer las discrepancias entre estos aspectos, con el objetivo de minimizar las pérdidas asociadas a dichas diferencias.

4.2. Objetivos específicos

4.2.1. Evaluar la percepción y aceptación sensorial de tomates tipo “Grape” producidos convencionalmente en sustrato orgánico de coco (*Cocos nucifera* L.) y de yuca (*Yucca schidigera*).

4.2.2. Evaluar el efecto del tipo de sustrato orgánico (coco y yuca) en el perfil sensorial, la composición fisicoquímica, fitoquímica y volátil de tomates tipo “Grape” producidos convencionalmente.

4.2.3. Asociar el valor de °Bx y la aceptación del consumidor con el perfil sensorial, fisicoquímico, fitoquímico y volátil de tomates tipo “Grape” producidos convencionalmente en sustrato de coco (*Cocos nucifera* L.) y yuca (*Yucca schidigera*).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Estrategia experimental

El trabajo experimental se dividió en 5 etapas (Figura 7): 1) La evaluación sensorial afectiva por consumidores de tomates tipo “Grape” producidos en sustratos de coco y yuca. 2) Selección y entrenamiento de un panel sensorial. 3) Caracterización fisicoquímica y fitoquímica de los tomates 4) Caracterización volátil de los tomates; y finalmente 5) La asociación del valor de °Bx y la aceptación de los consumidores con el perfil sensorial, fisicoquímico, fitoquímico y volátil.

5.2. Material biológico

Los frutos de tomate evaluados en este trabajo fueron producidos de manera convencional en un invernadero comercial de la empresa CEICKOR®, situado en el municipio de Colón, Querétaro. Las plantas se desarrollaron utilizando sustratos de coco (SC) y de yuca (SY). La variedad de tomate de tipo 'Grape' empleada fue 'Sweetmax', en un estado de madurez de cosecha identificado como 'rojo claro' (etapa 5, también denominada 60-70), según la tabla de colores de la USDA, 1975 (Figura 3). Se realizaron tres muestreos, llevando un registro del riego, fertilizante y el método de control de plagas. Tras la cosecha, los frutos fueron transportados inmediatamente al laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de la Universidad Autónoma de Querétaro, para conservarlos a 12 °C en un cuarto frío hasta el momento de su análisis. Los frutos se dividieron en tres partes: la primera destinada a evaluaciones sensoriales, la segunda para análisis fisicoquímicos y fitoquímicos, y la tercera para la evaluación de compuestos volátiles. Los análisis sensoriales y fisicoquímicos se llevaron a cabo en los primeros cuatro días posteriores a la cosecha; mientras que para el perfil de volátiles se utilizó una muestra homogeneizada y conservada a -20 °C (Vázquez-Landaverde *et al.*, 2006).

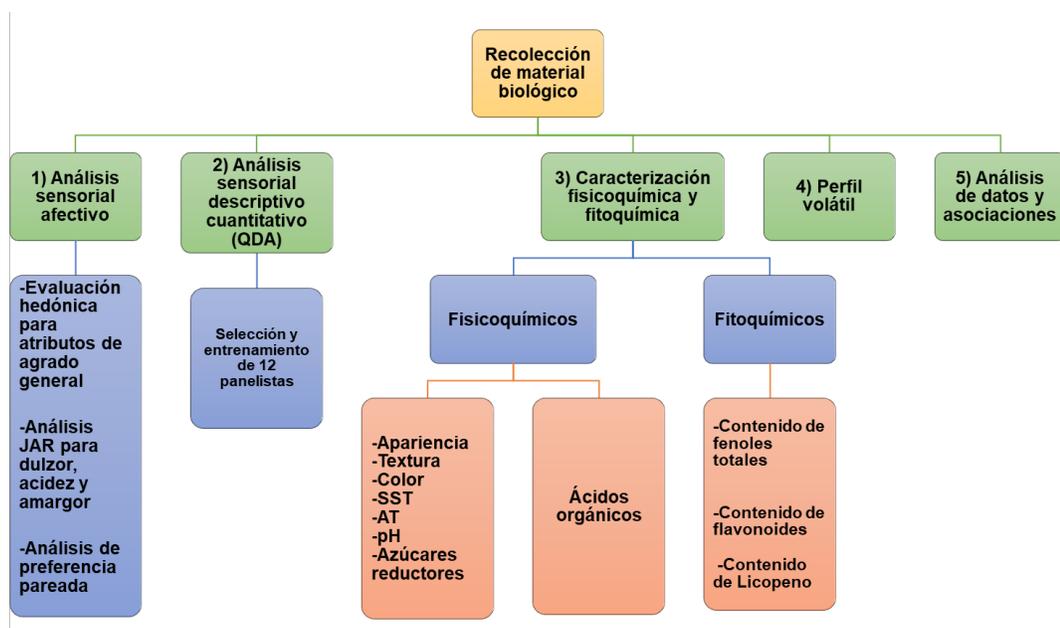


Figura 7: Diagrama de estrategia experimental

5.3 Métodos

5.3.1. Análisis sensorial

Los análisis sensoriales se realizaron conforme a lo descrito por Meilgaard *et al.* (2016) y con la aprobación del comité de bioética (JPFQ-OFIC. 159/2022). Para asegurar la inocuidad de las muestras, los materiales utilizados fueron sanitizados con una solución de hipoclorito de sodio a 250 ppm; mientras que los tomates se desinfectaron con 150 ppm y se analizaron microbiológicamente por la NOM-251-SSA1-2009 (BMA, coliformes totales, hongos y levaduras) en el laboratorio LECRIMA. Se realizaron 2 tipos análisis sensoriales, afectivo y descriptivo.

5.3.1.1 Análisis afectivo

Primeramente, se realizó una invitación a consumidores regulares de tomate; los criterios de preselección se basaron en el consumo regular de tomate en cualquier variedad, que no fueran alérgicos al mismo y que no tuvieran enfermedades o algún impedimento que les permitiera distinguir sabores y olores básicos. La prueba se realizó en el laboratorio de análisis sensorial ubicado en el parque biotecnológico de la Universidad Autónoma de Querétaro. Las cabinas individuales cuentan con espacios ventilados y espaciados, a los panelistas se les proporcionó frutos producidos en SC y SY; además, se les proporcionó agua pura y galletas neutras como limpiadores de paladar. Se les pidió anotaran en una escala hedónica de 7 puntos la intensidad de los atributos: apariencia, sabor, textura y agrado general. Para los atributos de dulzor, acidez y amargor, se utilizó una prueba JAR (“Just about right”) con una escala de 5 puntos, donde los puntos fueron: -2 = Mucho menos de lo que me gusta, -1 = Menos de lo que me gusta, 0 = Justo como me gusta, 1 = Mas de lo que me gusta y 2 = Mucho más de lo que me gusta (ANEXO 1).

5.3.1.2 Análisis descriptivo cuantitativo (QDA)

Para llevar a cabo el análisis descriptivo cuantitativo (Quantitative Descriptive Analysis QDA® por sus siglas en inglés), se reclutaron estudiantes de séptimo y

octavo semestre de la carrera de Ingeniería Química en alimentos de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro, quienes previamente cursaron y aprobaron las asignatura de Evaluación Sensorial. Para selección incluyeron los siguientes criterios: ser consumidores habituales de productos de tomate, no ser fumadores y no estar en estado de embarazo. Los panelistas seleccionados fueron debidamente informados acerca del proyecto y proporcionaron su consentimiento informado, según se detalla en el ANEXO 2. Para la fase de entrenamiento, se llevaron a cabo tres tipos de pruebas de selección; en primer lugar, se realizaron pruebas destinadas a identificar posibles incapacidades para detectar compuestos. Luego, se efectuaron pruebas de agudeza sensorial, seguidas de pruebas diseñadas para evaluar la capacidad de los candidatos para describir percepciones sensoriales, conforme a las directrices establecidas la (Asociación Española de Normalización y certificación, 1995).

Para identificar posibles incapacidades en la percepción de sabores o estímulos químicos, se aplicó la prueba de detección del compuesto PTC (Phenyltiocarbamide), la cual permite discriminar a las personas que no pueden percibir el sabor amargo (Hussain *et al.*, 2013) Además, se empleó la prueba de Ishihara para detectar posibles alteraciones en la visión y se llevaron a cabo pruebas de detección de sabores básicos. Aquellos individuos que superaron estas evaluaciones posteriormente fueron calibrados en su agudeza sensorial mediante pruebas de detección de sabores básicos a una concentración elevada (Tabla 4).

Para evaluar la agudeza visual de los participantes, se proporcionaron tomates en diversas etapas de madurez, solicitando que los clasificaran de acuerdo con la intensidad del color manifestada en diversas variedades. En cuanto al análisis de la discriminación de texturas, se ejecutaron pruebas utilizando frijoles cocidos a variados niveles de cocción (Figura 8a) (Watts *et al.*, 1992). Además, se implementaron pruebas de dureza con tomates en diferentes estados de madurez

(Figura 8b), evaluándose así las disparidades en la dureza entre diversas variedades de este fruto.

Tabla 4: Soluciones para pruebas de detección de gustos básicos.

Pruebas de detección		
Gusto	Estímulo	Concentraciones
Dulzor	Sacarosa	16.0 g/l
Acidez	Ácido cítrico	0.6 g/l
Amargor	Cafeína	0.27 g/l
Salado	Cloruro de Sodio	2.0 g/l
Umami	Glutamato monosódico	0.3 g/l

(Watts *et al.*, 1992).

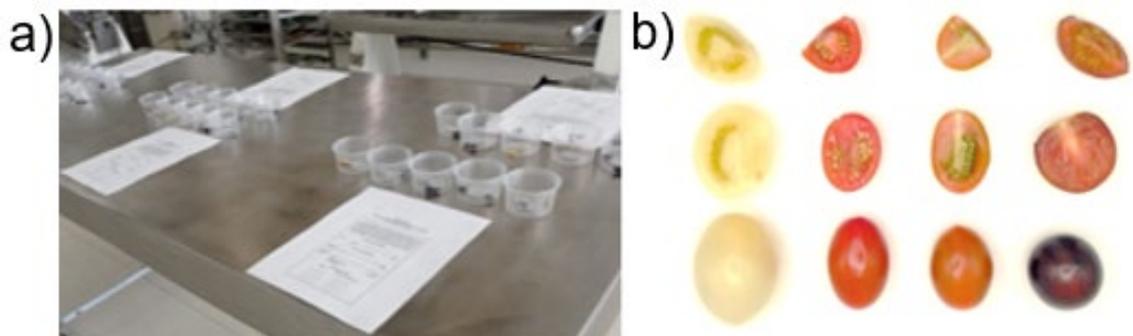


Figura 8: a) Prueba de discriminación de texturas; b) Variedades utilizadas para diferentes durezas

Con el objetivo de evaluar la capacidad para describir percepciones sensoriales, se implementaron pruebas específicas vinculadas a la descripción de aromas asociados a productos derivados del tomate. Además, se exploró la capacidad de los participantes para elucidar términos relacionados con la textura, tales como

dureza, tamaño de partícula, resistencia de la piel y facilidad de masticación (Tabla 5).

Tabla 5:Entrenamiento en descripción de texturas en frijol y tomate

Descripción de texturas en frijol y tomate	
Dureza	Fuerza necesaria para penetrar la muestra.
Tamaño de partícula	Tamaño de partícula después de masticar las muestras 3 veces con los molares.
Dureza de cáscara	Fuerza necesaria para partir la cáscara con los incisivos.
Masticabilidad	Número de masticaciones necesarias antes de que la muestra este lista para tragar.

(Watts *et al.*, 1992)

Se efectuaron pruebas de umbrales para sabores básicos con el propósito de determinar los niveles de detección y reconocimiento, utilizando soluciones detalladas en la Tabla 6. Se utilizó una escala bipolar de 15 cm, en la cual 0 cm indicaba ausencia de percepción del atributo y 15 cm representaba la máxima percepción de este.

Tabla 6: Soluciones para pruebas de umbrales.

Soluciones en agua para prueba de umbral de detección y reconocimiento					
Estímulo	Concentraciones (g/L)				
Sacarosa	3.0	6.0	9.0	12	16.0
Ácido cítrico	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6
Cafeína	0.05	0.2	0.3	0.4	0.5
Cloruro de Sodio	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0
Glutamato monosódico	0.05	1.0	1.5	2.5	3.0

Después de calibrar el panel, el proceso de evaluación incluyó la revisión de dos muestras de frutos de coco (FC) y dos muestras de frutos de yuca (FY) en cada sesión. Estas cuatro muestras se presentaron en recipientes de plástico con códigos

aleatorios de tres dígitos (Figura 9) y la prueba se llevó a cabo en un espacio de trabajo en grupo, proporcionando galletas sin sabor y agua natural como elementos para limpiar el paladar entre muestras evaluadas.



Figura 9: Panelistas realizando QDA

5.3.2. Análisis fisicoquímicos

Para los análisis fisicoquímicos (tamaño, textura, color °Bx, acidez titulable, pH y azúcares reductores) se usaron 3 frutos en etapa de madurez comercial de 18 macetas experimentales por duplicado dando un total de 108 frutos para cada análisis.

5.3.2.1. Calidad visual (apariencia)

Los parámetros de calidad evaluados fueron la apariencia y el color; se seleccionaron frutos que no presentaran golpes o daños, libres de hongos y con un desarrollo de color característico de la etapa 5 según USDA, 1975. De estos frutos se realizó un registro fotográfico en cada uno de los muestreos con una cámara de alta definición (13 megapíxeles). El peso de las muestras se midió con una balanza digital con una precisión de 0.1 mg; la forma se determinó midiendo el diámetro y longitud de los frutos usando un vernier digital (Marca Sterren HeER-411; con una resolución de 0.1mm).

5.3.2.2. Textura

La textura de los frutos se evaluó mediante el método descrito por Zhang *et al.*, (2019) a través de la prueba de compresión utilizando un texturómetro BROOKFIELD®, Modelo CT3 25K equipado con una sonda cilíndrica de acrílico de 27.7 mm de diámetro, a una velocidad de la prueba de 1 mm/s hasta alcanzar un 5 % de deformación del fruto registrando la fuerza necesaria (N) la cual se consideró como la firmeza en cada fruto.

5.3.2.3. Color

El color de los frutos se midió en la parte central del mismo, considerando la parte del pedúnculo hacia el analista. Se utilizó un colorímetro KONICA MINOLTA, Modelo CM-600d equipado con iluminante D65 y observador a 10°; con el cual se obtuvieron los valores CIEL*a*b*, donde L* es la luminosidad, a* representa tonalidades verdes [-] a tonalidades rojas [+] y b* indica tonalidades azules [-] a tonalidades amarillas [+], a partir de los datos se determinó los valores de croma, ángulo de matiz o °Hue y el índice de color utilizando las expresiones matemáticas reportadas por (McGuire, 1992) (Ec.1,2,3).

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

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

$$IC = \frac{b}{a}$$

5.3.2.4. Determinación del contenido de sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles totales se determinaron según el método 932.12 de la AOAC (1990), usando un refractómetro digital (Hanna instruments Inc. HI 96801). Se realizó la medición directa del jugo de tomate a 20 °C, colocando una celda del refractómetro calibrado con agua destilada a la misma temperatura.

5.3.2.5. Determinación de acidez titulable

La acidez titulable se realizó mediante el método potenciométrico de acuerdo con la AOAC 942.15 (AOAC, 1990), 5.0 ±0.05 g de muestra con 30 ml de agua desionizada se homogenizaron con un ultraturrax a 10 000 rpm; posteriormente se centrifugó a 10 000 rpm por 10 min, el sobrenadante se aforó a 35 ml. Para la determinación se tomó una alícuota de 10 ml de la solución y se tituló con NaOH 0.01 N usando un pH/ORP meter (Hanna instruments Inc HI2213) hasta alcanzar un valor de 7 ± 0.2; después lentamente se continuó la titulación hasta un pH de 8.1 ± 0.2. Los resultados se expresaron en mg de ácido cítrico (0.064).

$$\% \text{ Acidez} = \frac{V \times N \times E \times 10}{W}$$

Donde:

W, es el volumen (ml) de muestra a titular.

V, es el volumen (ml) de la solución de NaOH consumido en la titulación.

N, es la normalidad de la solución de NaOH (0.01 N)

E, mili-equivalente del ácido predominante en el tomate (ácido cítrico = 0.064)

5.3.2.6. Determinación de pH

El potencial de hidrógeno (pH) se determinó mediante la lectura directa del extracto acuoso antes mencionado, usando un medidor básico pH/ORP meter (Hanna instruments Inc HI2213), mismo que fue calibrado con una solución buffer de pH de 4.0, 7.0 y 10.0 según el procedimiento oficial de la AOAC 981.12 a 25 °C.

5.3.2.7 Determinación de azúcares reductores

El contenido de azúcares reductores se determinó mediante el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (Miller, 1959). Para la preparación del DNS, se mezcló 0.8 g de NaOH en agua destilada, adicionando 21.9 g de tetra hidratado de tartrato de sodio y potasio en partes hasta disolver; posteriormente se agregó 0.5 g de ácido dinitrosalicílico. Seguidamente, la solución se aforó a 50 ml con agua destilada y se dejó agitando por 12 hrs. cubierto de la luz y se almacenó en un frasco ámbar a 4 °C. Para la cuantificación se realizó una curva de calibración de glucosa con

concentraciones de 0.5 - 2 g/L. El procedimiento consistió en adicionar 0.25 ml de muestra homogenizada y filtrada y 0.25 ml del reactivo DNS en tubos de ensayo cubiertos con papel aluminio. Posteriormente se colocaron en baño de agua a 100 °C por 5 min, después se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente para añadir 2.5 ml de agua destilada mezclando con ayuda de vortex por 30 s. La lectura se realizó a 540 nm en espectrofotómetro (Lamba 365, Perkin Elmer, Inc., USA).

5.3.3 Análisis de fitoquímicos

Para la determinación fitoquímica (fenoles, flavonoides y licopeno), se tomaron otros 3 frutos de cada maceta y se molieron para hacer las determinaciones por triplicado, dando un total de 54 submuestras.

5.3.3.1 Determinación del contenido total de fenoles

Para la determinación de fenoles totales se siguió el método de Folin-Ciocalteu descrito por Wang *et al.*, (2020). A 3 ± 0.05 g de tomate se agregaron 25 ml de metanol (80 %) acidificado con 1 % de ácido fórmico para extraer los fenoles. La determinación se hizo en microplaca usando un método espectrofotométrico; a 50 μ l de extracto de muestra se agregaron 200 μ l de agua destilada y 125 μ l de reactivo de Folin-Ciocalteu (50 %) (v/v), la reacción se mantuvo en oscuridad a 25 °C durante 5 min. Posteriormente se agregaron 625 μ l de solución de carbonato de sodio (75 g/L) y se incubó en la oscuridad durante 2 horas más. La absorbancia se midió a 760 nm usando un lector de microplaca BIO-RAD iMark; usando una solución estándar de ácido gálico (AG) para la curva de calibración; los resultados se expresaron como mg de AG (Eqv)/100 g de peso fresco.

5.3.3.2 Determinación de flavonoides totales

La determinación de flavonoides totales se realizó por un método reportado por Dubois *et al.* (2013), el cual es un método colorimétrico basado en el acomplejamiento de cloruro de aluminio ($AlCl_3$) con los flavonoides, en el cual se forman complejos estables en pH ácido con el grupo ceto C-4 y el grupo hidroxilo

C-3 o C-5 de flavonas y flavonoles. Para la extracción se tomaron 3 ± 0.05 g de muestra con 25 ml de metanol (80 %) acidificado con ácido fórmico (1 %). Los flavonoides presentes en el extracto se determinaron en microplaca tomando un volumen total de 750 μ L de la muestra de tomate con la dilución adecuada, posteriormente agregando 150 μ L de $AlCl_3$ (10 %); enseguida se llevó al vortex por 35 s a velocidad media y se añadió 150 μ L de acetato de sodio (1M). Después de 45 min, la intensidad del color desarrollado se leyó a 415 nm en un lector de microplaca BIO-RAD iMark; para la cuantificación se utilizó una curva de calibración de quercetina (4 - 100 μ g/ml), los valores se expresaron como mg de quercetina (Eqv)/100 g de peso fresco.

5.3.3.3 Determinación del contenido de licopeno

La determinación de licopeno se determinó conforme a lo reportado por Fish *et al.*, (2002) con algunas modificaciones. Para la preparación de los extractos se utilizó 1 ± 0.05 g de la mezcla de 3 tomates y se mezcló con 5 ml de solución 1:1 de etanol al 95 % y acetona con 0.05 % (p/v) de butil hidroxitolueno (BHT); posteriormente con un ULTRA TURRAX (IKA®, Modelo T 25 D S1, Alemania) se homogenizó a 10,000 rpm durante 1 min. Se adicionó 10 ml de hexano frío y se colocó en tubos falcón forrados con aluminio. Posteriormente, la muestra se agitó a 180 rpm en orbital shaker durante 15 min en baño de hielo. Seguido de esto, se agregó 3 ml de agua destilada y continuó la agitación durante 5 min; la muestra se dejó reposar a temperatura ambiente durante 5 min para permitir la separación de fases. Finalmente, se recuperó la fase orgánica y se tomó una alícuota de 1 ml, la cual se diluyó 1:3 con hexano (Davis *et al.*, 2003), para después medir la absorbancia con un espectrofotómetro UV-Vis (PerkinElmer®, Modelo Lambda 365, Estados Unidos de América) a 503 nm, utilizando hexano como blanco. La concentración de licopeno se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Licopeno (mg/kg muestra)} = [(A_{503}/17.2 \times 10^4 / M \times \text{cm}) \times (536.9 \text{ g/ mol})] \times (1L/10^3 \text{ mL} \times 10^3 \text{ mg/1 g}) \times (10 \text{ ml/ kg muestra}) = [(A_{503} \times 31.2) / \text{g de muestra}]$$

El coeficiente de extinción molar para el licopeno es de 17.2×10^4 M/cm reportado por Zechmeister *et al.* (1943) para el licopeno en hexano. Los resultados fueron expresados en mg de licopeno/100 g de tejido fresco.

5.3.4. Análisis de ácidos orgánicos y compuestos volátiles

Para los análisis de ácidos orgánicos (HPLC) y determinación de los compuestos volátiles (CG-Masas), los análisis se realizaron tomando una mezcla compuesta de 9 frutos provenientes de 3 macetas experimentales; dando como resultado 6 submuestras.

5.3.4.1 Determinación de ácidos orgánicos por HPLC

La extracción ácidos orgánicos de frutos de tomate se realizó con el método reportado por Scherer *et al.* (2012), usando un buffer de K₂PO₄ a 10mM ajustado a un pH de 2.6. Se pesó 2.5 ± 0.05 g de muestra y se homogeneizó con 20 ml de buffer usando un ULTRA TURRAX (IKA®, Modelo T 25 D S1, Alemania) a 10,000 rpm durante 1 min. Posteriormente, se centrifugo durante 10 min a 10,000 rpm recuperando el sobrenadante, para finalmente obtener el extracto a analizar aforado en un volumen de 25 ml. Un ml de la mezcla se filtró con un acrodisco millipore de tamaño de poro de 0.45 μ m. Para la separación de los ácidos orgánicos se utilizó la metodología reportada por (Scherer *et al.*, 2012) con algunas modificaciones; 10 μ l del extracto se inyectaron a un equipo HPLC equipado con una columna de acero inoxidable (C:18, Waters®, 4.6x100mm, poro de 3.5 μ m) operada a temperatura ambiente. El tiempo de corrida fue de 15 min y se utilizó un detector de arreglo de diodos a una longitud de onda de 210-245 nm. Para la identificación de los compuestos se comparó el tiempo de retención y el espectro de absorción con estándares de ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido málico y ácido oxálico; mientras que, para la cuantificación, se utilizó una curva estándar de ácido oxálico, ácido cítrico y ácido ascórbico con concentraciones entre 0.25 μ L/ml – 20 μ L/ml.

5.3.4.2 Análisis de compuestos volátiles

El análisis de compuestos volátiles se realizó en el Laboratorio de Análisis de Sabores y Fragancias del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) Unidad Querétaro, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), con la metodología reportada por Vázquez-Landaverde *et al.*, (2006). Los compuestos volátiles se analizaron mediante micro extracción en fase sólida versión Headspace (SPME por sus siglas en inglés) y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Para la toma de muestra se homogenizaron 5 tomates en una licuadora Oster modelo – BLST4129-013 por 2 min a velocidad alta; posteriormente se tomó 5 ± 0.02 g del homogeneizado y se pusieron en viales transparentes agilent de 20 ml con tapas metálicas y septas de PTFE; los cuales fueron conservados a -20 °C hasta su análisis.

5.3.5. Diseño Experimental y Análisis Estadístico

El invernadero utilizado para este estudio constaba de 10 filas, cada una con 42 macetas y 4 plantas por maceta. Las plantas objeto de estudio se ubicaron en las dos filas centrales, distribuidas de manera aleatoria según el tipo de sustrato (FC y FY), tal como se muestra en la Figura 10. Esta disposición se eligió para minimizar las variaciones experimentales. Las plantas restantes en el invernadero se cultivaron todas en fibra de coco. A lo largo del ciclo de producción, se realizaron cuatro muestreos: los tres primeros para análisis fisicoquímicos, fitoquímicos y sensoriales, y el cuarto para el análisis de compuestos volátiles.

Se adoptó un diseño experimental unifactorial con dos niveles, donde la variable independiente fue el tipo de sustrato, con dos niveles: sustrato de yuca y sustrato de coco (Figura 11). Las variables dependientes fueron las mediciones obtenidas de los análisis analíticos realizados. Para el procesamiento de los datos, se utilizó R Studio versión 4.2.1, con el que se calcularon las medias y errores estándar tanto de las mediciones realizadas por los consumidores como de los análisis fisicoquímicos y fitoquímicos. Se aplicó un análisis univariante para examinar la

composición fisicoquímica, fitoquímica y el Análisis Cuantitativo Descriptivo (QDA) de los frutos de SC y SY. Para la comparación de las medias, se utilizó la prueba de Tukey, y para el análisis de datos no paramétricos del estudio sensorial afectivo, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis. En el caso de la prueba de preferencia pareada, se optó por un enfoque binomial con un nivel de significancia de 0.05. Finalmente, se realizó un análisis multivariado de componentes principales para evaluar los compuestos volátiles.



Figura 10: Foto ilustrativa de las plantas de tomates cultivados en sustratos de yuca y de coco en el invernadero

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se detalló en la sección de materiales y métodos, el trabajo experimental se realizó en varias etapas. Con el primer muestreo (enero) enfocado en el análisis sensorial, se identificó que las macetas experimentales recibían riego a través de dos válvulas diferentes: la fila 5 era regada por la válvula 1 y la fila 6 por la válvula 2. La Figura 11 muestra el porcentaje de drenaje, un parámetro clave utilizado por los agricultores ('growers') para regular la demanda de riego en el invernadero. Este porcentaje representa la cantidad de solución nutritiva que no es absorbida por las plantas y que luego se drena, siendo recogida en los conductos finales del sistema de riego.

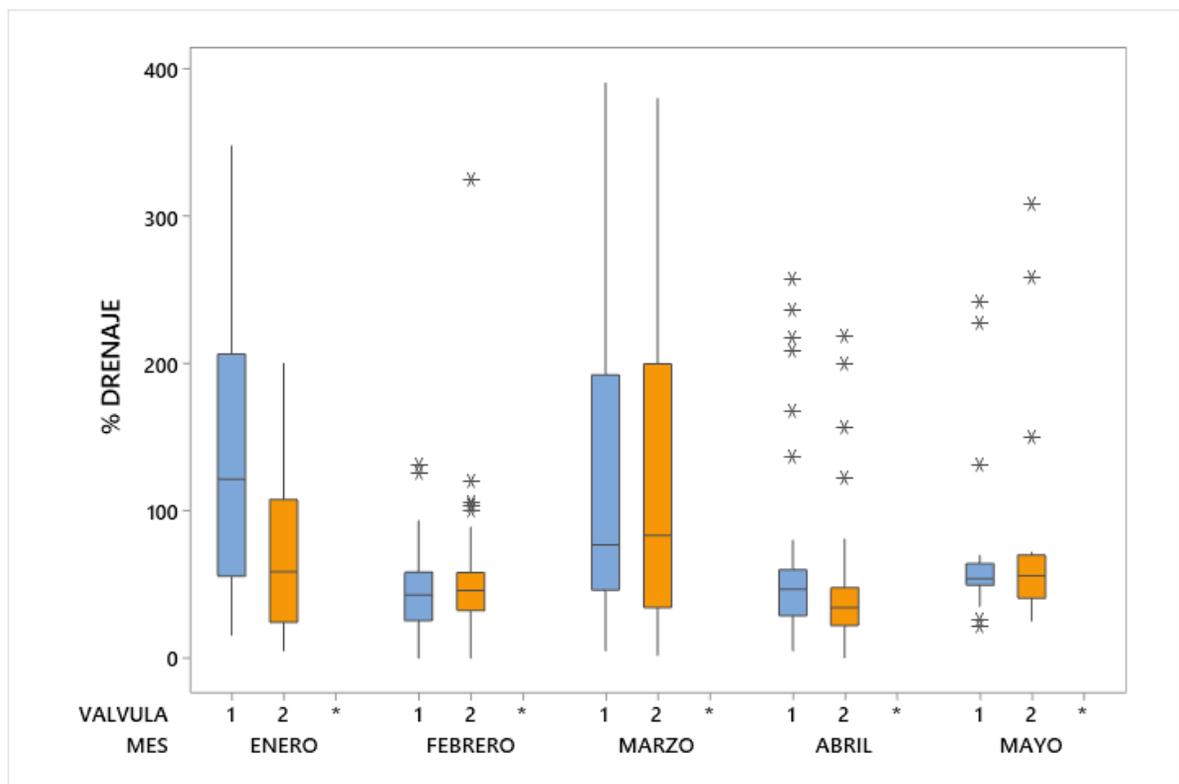


Figura 11: Gráfico de cajas del porcentaje de drenaje en los meses de producción de las filas experimentales: de la válvula 1 (fila 5) y válvula 2 (fila 6). Promedio de 3 mediciones al día durante cada mes; las desviaciones estándar se utilizaron para calcular los intervalos. Datos proporcionados por el centro universitario CEIKOR

En el mes de enero, se observó una notable variación en el suministro de la solución nutritiva, situación que fue corregida en los meses siguientes. Sin embargo, es importante destacar que los análisis sensoriales hedónicos se realizaron con muestras de enero; mientras que los análisis de Análisis Cuantitativo Descriptivo (QDA) se llevaron a cabo con muestras de abril. En cuanto a la caracterización fisicoquímica, fitoquímica y la evaluación de los compuestos volátiles de los tomates, estos se efectuaron utilizando muestras obtenidas en marzo y abril, contando con dos réplicas para cada uno de estos análisis

6.1 Resultados microbiológicos para análisis sensoriales

Los resultados del análisis microbiológico se presentan en la Tabla 7. Todos los parámetros analizados se encuentran dentro de los valores permitidos por la normatividad mexicana, lo cual indica que las muestras son seguras y aptas para ser evaluadas sensorialmente.

Tabla 7: Análisis microbiológico de muestras para análisis sensorial

Código LECRIMA	Muestra¹	BMA² (UFC/g)	Mohos² (UFC/g)	Levaduras² (UFC/g)	Coliformes Totales² (UFC/g)	Condiciones ambientales³
23-112-01	Jitomate tipo "Grape"	<10	<10	<10	<10	28.2 °C/62.9 % HR
Valores de referencia	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica

¹ Método de análisis

NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

NOM 111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

NOM 113-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.

³ Resultado obtenido en LECRIMA.

6.2 Análisis sensorial afectivo

Los atributos sensoriales de los frutos de tomate producidos en FC y FY se muestran en las Figuras 12. Los datos fueron el resultado de 92 consumidores (60 % mujeres y 40 % hombres), con una edad promedio de 24 años. Aunque, de manera general no se observaron diferencias estadísticas en los atributos derivadas del tipo de sustrato, se puede apreciar que los frutos de tomate de FY fueron mejor calificados

que los de FC y en particular en el sabor. Para la industria agroalimentaria, comprender la percepción del consumidor es fundamental para garantizar el éxito de un producto en el mercado; particularmente en el caso del tomate “Grape” la popularidad y aceptación dependen en gran medida de sus características sensoriales (Pérez-Marín *et al.*, 2021). La ausencia de diferencias notables en la apariencia entre los tomates cultivados en los dos tipos de sustratos indica que, desde la apreciación visual, ambos son igualmente atractivos para los consumidores. En cuanto al “sabor”, aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos (5.4 ± 1.4 y 5.6 ± 1.2 para FC y FY, respectivamente), los resultados indican una mayor dispersión en las calificaciones otorgadas a los tomates FC que a los de FY (Figura 15b).

La “textura” es un atributo sensorial de gran importancia en la aceptabilidad de los alimentos y desempeña un papel crítico en la percepción de frutas como el tomate (Serrano-Megías & López-Nicolás, 2006). En el presente estudio, los consumidores no notaron diferencias significativas entre ambos frutos, otorgando puntuaciones promedio de 5.7 ± 1.2 y 5.8 ± 1.1 , para frutos de FC y FY respectivamente. No obstante, es notable que un mayor porcentaje de panelistas otorgó la máxima calificación (7) a la textura de los tomates FY en comparación con los FC (Figura 15c). Esto indica que, aunque las puntuaciones promedio fueron similares, los tomates FY tienen características texturales particularmente apreciadas por un segmento significativo de consumidores. Este hallazgo es relevante, ya que las diferencias en la firmeza no solo influyen en la percepción de calidad, sino que también pueden afectar de manera positiva en la comercialización de los frutos; es decir en el almacenamiento y transporte (Al-Dairi *et al.*, 2021)

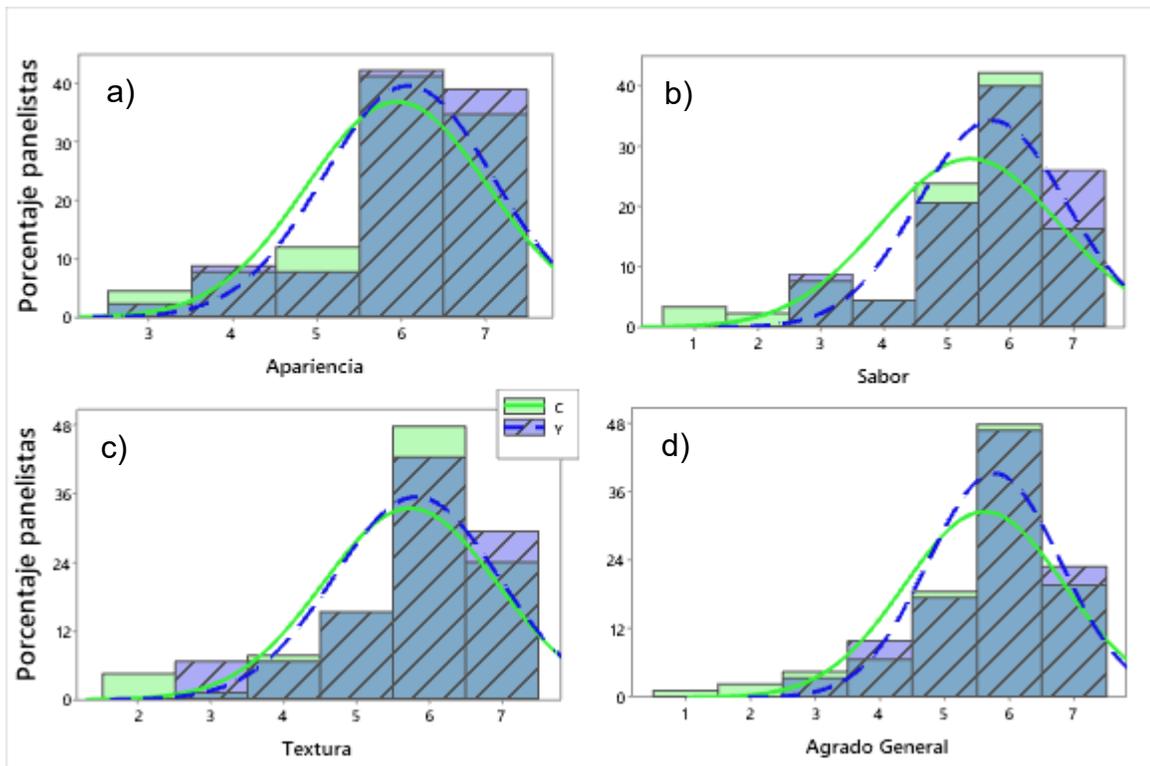


Figura 12: Histograma de puntuaciones en prueba afectiva por 92 consumidores

En relación con el atributo de 'agrado general', los resultados sugieren una aceptación similar para ambos tipos de frutos, aunque los tomates cultivados en FY obtuvieron una calificación promedio ligeramente superior, siendo un 3.5 % más alta en comparación con los cultivados en FC. Sin embargo, es importante destacar que se notó una mayor variabilidad en las evaluaciones de los tomates de FC, como se muestra en la Figura 15d. A pesar de esto, en términos generales, se observa que ambos tipos de frutos son aceptados de manera similar por los consumidores. Cabe mencionar que en la prueba de preferencia pareada, los mismos consumidores expresaron una preferencia del 14 % hacia los tomates de FY en comparación con los tomates de FC. Este resultado subraya que, aunque existen diferencias sutiles en la percepción del agrado general, ambos tipos de sustratos son capaces de producir tomates que satisfacen las preferencias de los consumidores.

La prueba JAR (Just About Right) ofrece una evaluación detallada de cómo los consumidores perciben los niveles de dulzor, acidez y amargor en los tomates.

Según la Tabla 8, el 23.9 % de los panelistas percibieron a los tomates de FC como "más y mucho más dulces de lo que me gusta", en comparación con solo el 10.9 % para los frutos de FY. Respecto a los rangos de "menos y mucho menos dulce de lo que me gusta", hubo un 8.8 % más de panelistas con esta percepción en los tomates de FY. Para los que indicaron un dulzor "justo como les gusta" (escala JAR), se observó una preferencia del 4.3 % hacia los frutos de FY.

En cuanto a la acidez, ambos tipos de frutos mostraron resultados similares. La diferencia en los rangos de "más y mucho más ácido de lo que me gusta" fue solo un 1.1 % mayor en los frutos de FY. En la categoría de "menos y mucho menos ácido de lo que gusta", las percepciones fueron nuevamente parecidas entre ambos sustratos, con una mínima diferencia del 1 % más en los frutos de FY. Los consumidores que calificaron la acidez como "JAR" mostraron un 2.2 % de preferencia hacia los tomates de FC.

En relación con el amargor, el 21.8 % de los participantes calificó a los frutos de FC como "más y mucho más amargos de lo que prefieren", en comparación con un 14.1 % para los frutos de FY. La diferencia en los rangos de "menos y mucho menos amargo de lo que me gusta" fue de un 2.1 %. Esto impactó directamente en la escala JAR, ya que un 5.4 % más de consumidores calificó a los frutos de FY como "justo como les gusta", en comparación con los de FC. Sin embargo, el análisis estadístico reveló que no hay diferencias significativas entre los frutos producidos en FC y FY en términos de dulzor (p-valor = 0.66), acidez (p-valor = 0.88) y amargor (p-valor = 0.31).

Se puede deducir que, en general, la percepción de los frutos respecto a dulzura y acidez es similar, con una inclinación hacia los frutos de FC siendo vistos como más dulces, pero con un nivel de acidez similar a los de FY. Respecto al amargor, hay variaciones en las opiniones; los frutos de FC tienden a ser considerados "más amargos de lo que me gusta" por un segmento más amplio de consumidores en comparación con los frutos de FY, que son percibidos por muchos como "exactamente como me gusta".

En la prueba de preferencia pareada realizada con 92 consumidores, se observó que el 43% mostró una preferencia por los tomates de FC, mientras que un 57% optó por los tomates de FY, evidenciando una diferencia del 14%. Aunque esta tendencia hacia los frutos de FY no es estadísticamente significativa, subraya la relevancia de la relación entre dulzor, acidez y amargor, tal y como indicaron (Malundo et al., 1995). Un segmento de los consumidores percibe un equilibrio adecuado en estos aspectos en los frutos de FY, con un balance entre dulzura y acidez, y un amargor moderado; lo cual sugiere que la sustitución del sustrato de fibra de coco por fibra de yuca podría ser viable, sin comprometer y posiblemente mejorando la calidad sensorial de los tomates.

Tabla 8: Prueba "JAR" para atributos gustativos.

FRUTOS DE TIPO DE SUSTRATO	MUCHO MENOS (-2)	MENOS (-1)	JAR (0)	MÁS (1)	MUCHO MÁS (+2)	TOTAL
DULZOR						
COCO	0	28	42	21	1	92
	0%	30.4%	45.7%	22.8%	1.1%	100%
YUCA	2	34	46	7	3	92
	2.2%	37%	50%	7.6%	3.3%	100%
ACIDEZ						
COCO	1	10	49	28	4	92
	1.1%	11%	53.3%	30.4%	4.4%	100%
YUCA	1	11	47	33	0	92
	1.1%	12%	51.1%	35.9%	0%	100%
AMARGOR						
COCO	2	9	61	18	2	92
	2.17%	9.9%	66.3%	19.6%	2.2%	100%
YUCA	2	11	66	13	0	92
	2.17%	12%	71.7%	14.1%	0%	100%

Para cada atributo el valor superior corresponde al conteo general de consumidores y el inferior al % consumidores del total.

6.3 Análisis QDA

6.3.1 Selección y entrenamiento de panel

El análisis descriptivo cuantitativo (QDA) permitió encontrar los descriptores de los frutos de tomate a través de un panel sensorial. Partiendo de 35 personas interesadas en participar en el panel, se fueron seleccionando según su habilidad para detección y reconocimiento de sabores básicos (Figura 14), a pesar de que los candidatos estaban familiarizados con los sabores dulce, salado y ácido, algunos presentaban dificultades para identificar el amargor. Mediante la prueba de detección de feniltiocarbamida (PTC; (Hussain *et al.*, 2013), se identificaron cuatro participantes con dificultades para percibir este compuesto, quienes fueron excluidos del panel. Además, la prueba de Ishihara reveló que ninguno de los participantes presentaba problemas genéticos relacionados con la visión. Entre los 31 panelistas iniciales, se seleccionaron 12 que mostraron habilidades sensoriales consistentes y disponibilidad de tiempo; este grupo estaba compuesto por 5 hombres y 7 mujeres, con edades entre 22 y 35 años.

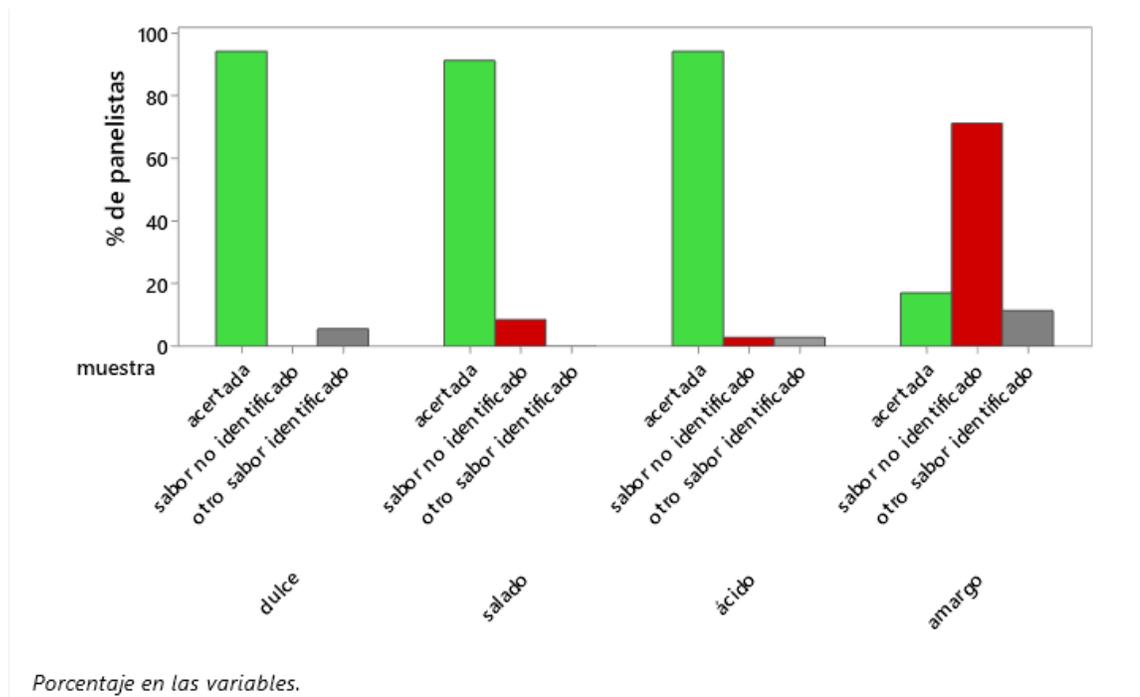


Figura 13: Identificación de sabores básicos de 35 candidatas

Los panelistas seleccionados participaron en un programa de entrenamiento que se llevó a cabo dos veces por semana, con sesiones de una hora de duración, a lo largo de un período de 5 meses. Durante las primeras sesiones, se proporcionó a los panelistas una introducción detallada a los estándares de calidad para los tomates establecidos actualmente por la USDA. Posteriormente, se realizaron varias sesiones de entrenamiento orientadas a mejorar las habilidades sensoriales de los panelistas. Este proceso de entrenamiento incluyó cuatro sesiones enfocadas en la identificación de sabores básicos, una sesión dedicada a la familiarización con escalas de evaluación sensorial, dos sesiones centradas en la evaluación de textura utilizando frijoles como referencia (Watts *et al.*, 1992), otras dos sesiones se centraron en la textura específica de los tomates, y cuatro sesiones dedicadas al entrenamiento de los umbrales de detección y reconocimiento. Para garantizar la eficacia del panel sensorial, fue esencial que todos los panelistas demostraran un 100 % de acierto en las pruebas de sabores básicos (Anexo 3), texturas y uso de escalas para iniciar la fase de entrenamiento enfocada en los umbrales sensoriales. Los resultados mostraron que el panel identificaba los sabores dulce, salado, ácido, amargo y umami en concentraciones de 9, 1.5, 0.3, 0.3 y 1.5 g/l, respectivamente. Estos valores indican que más del 50 % de los panelistas lograron identificar y clasificar correctamente soluciones a partir de ciertas concentraciones (Anexo 4).

6.3.2 Análisis QDA

Para determinar los descriptores de los frutos de tomate, los panelistas basados en un vocabulario común según la literatura de referencia (Tandon *et al.*, 2003), encontraron y definieron 11 descriptores utilizando variedades de tomates disponibles en el mercado (Figura 8b), estos descriptores se listan en la Tabla 9.

La Figura 15 ilustra el perfil sensorial de los tomates analizados. En general, ambos tipos de frutos muestran perfiles sensoriales similares. No obstante, los tomates cultivados en FC tienden a ser ligeramente más dulces y presentan un aroma

dulce/frutal, mientras que los cultivados FY son levemente más ácidos, firmes y brillantes.

Tabla 9: Descriptores propuestos por panelistas para frutos de tomate.

Descriptor	Definición
DULZOR	La sensación del sabor fundamental típica de la sacarosa.
ACIDEZ	La sensación de sabor fundamental típica del ácido cítrico.
AMARGOR	La sensación de sabor fundamental típica de la cafeína.
SALADO	El sabor fundamental típico del cloruro de sodio en el agua.
UMAMI	Sabor plano y salado, a veces asociado con productos cárnicos y que se percibe naturalmente en productos como el glutamato monosódico.
FIRMEZA	Fuerza necesaria para deformar el fruto y que se asocia con la madurez.
BRILLO	La refracción de la luz sobre la superficie del fruto.
ASTRINGENTE	La sensación de sequedad, fruncimiento en la lengua y otras superficies de la boca.
AROMA VERDE	Un aromático verde asociado con materiales vegetales inmaduros o no completamente desarrollados; caracterizado por aumento agrio, astringente y amargo.
AROMA FLORAL	Impresión dulce, ligera y ligeramente perfumada asociada con las flores
AROMA DULCE/FRUTAL	Aromáticos asociados a la impresión de sustancias dulces como frutas o flores. (Nota: Esto se refiere a los aromáticos de la dulzura en lugar del sabor dulce).

Cabe destacar que estas diferencias no son estadísticamente significativas; sin embargo, en lo que respecta al atributo de amargor, los tomates FY resultaron ser un 6 % más amargos (p -valor = 0.045) en comparación con los tomates FC. Este hallazgo contrasta con los resultados obtenidos en la evaluación con consumidores y podría deberse a las diferencias en las muestras utilizadas en ambos ensayos. Aunque los frutos provenían del mismo invernadero, las fechas de muestreo para cada ensayo fueron distintas; las muestras para el ensayo afectivo se cosecharon en enero, cuando la temperatura promedio es más fría mientras que para el QDA, las muestras se recogieron en abril, con una temperatura promedio más elevada. (Rosales et al., 2011) informaron que las condiciones de mayor temperatura y radiación solar favorecen la acumulación de nutrientes como los compuestos fenólicos, los cuales pueden aportar connotaciones amargas.

En los frutos cosechados en marzo, utilizados para el Análisis Cuantitativo Descriptivo (QDA), se observó un mayor contenido promedio de flavonoides en ambos tipos de frutos (FY = 32.5 mg/100g; FC = 29.7 mg/100g) en comparación con los frutos analizados en enero para el ensayo afectivo (FY = 26.4 mg/100g; FC = 21.5 mg/100g), siendo esta tendencia más pronunciada en los frutos de FY. Esta diferencia en el contenido de flavonoides podría haber influido en la percepción de amargor de los panelistas.

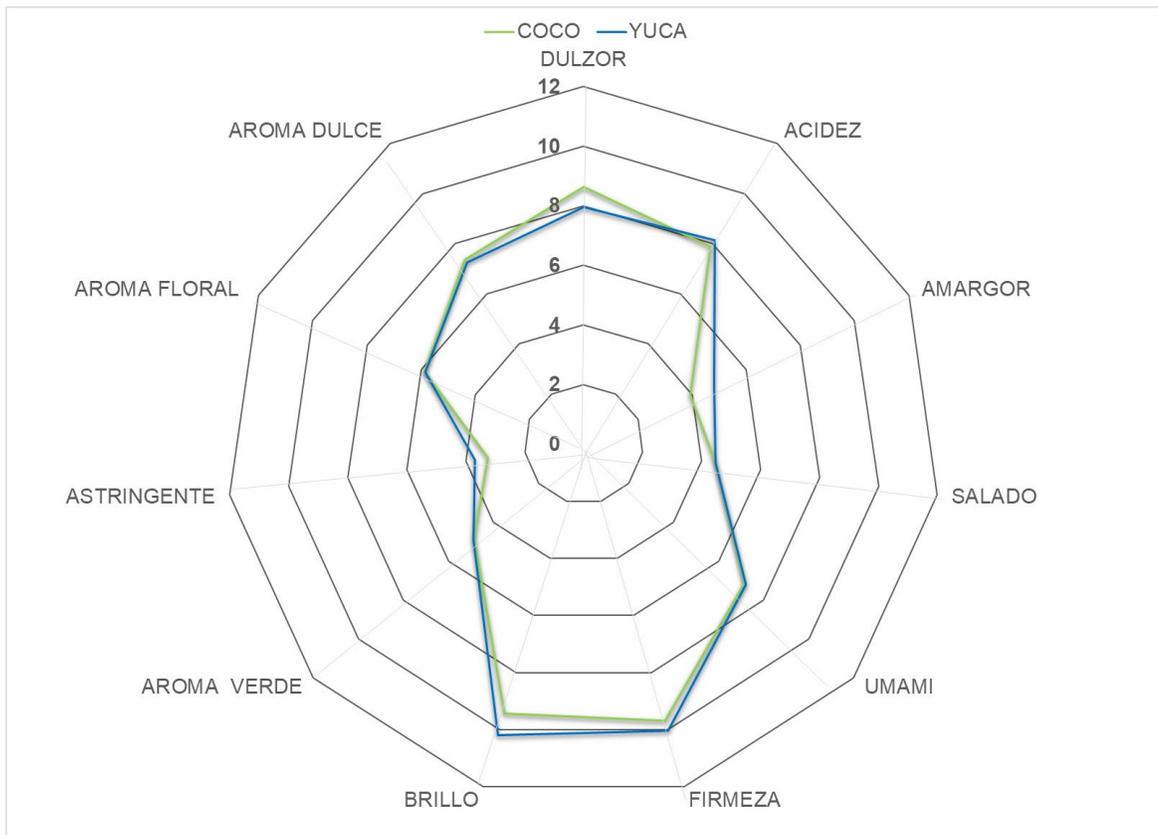


Figura 14: Perfil de tomates para FC y FY por el panel QDA

Por otro lado, (Stommel *et al.*, 2005) destacaron la relevancia de las expectativas de color en la percepción de sabores y aromas en los tomates Cherry, indicando que los consumidores suelen asociar las características visuales con los atributos de sabor y aroma. En nuestro estudio, se observó que los tomates de sustrato de FY fueron calificados, en promedio, un 4.9 % más brillantes que aquellos cultivados en FC, lo que sugiere que los tomates de FY presentan mejores características visuales en comparación con los FC. Sin embargo, en términos de dulzor, aromas dulces/frutales y aromas florales, los tomates FC obtuvieron puntuaciones más altas (Dulzor: FC=8.6 ± 2.9 - FY=7.9 ± 2.5; Aroma dulce/frutal: FC=7.4 ± 3.6 - FY=7.2 ± 3.2 y Aroma floral: FC = 5.9 ± 3.2; FY = 5.8 ± 3.1, respectivamente), un hallazgo que parece estar en contraste con las observaciones de Stommel *et al.* (2005), ya que

estos autores señalaron que, bajo condiciones de luz blanca, los tomates con colores más intensos tienden a ser percibidos como más dulces. Esta diferencia en la percepción visual podría explicar por qué, en el ensayo afectivo, los frutos FY fueron preferidos en un 14 % más que los frutos FC.

6.4 Caracterización fisicoquímica

Un aspecto clave en esta caracterización fue asegurar que todos los frutos estuviesen en un grado de madurez comparable, utilizando el color como criterio principal para esta evaluación. Las muestras elegidas para el análisis demostraron una notable uniformidad en el desarrollo del color, siendo comparables a los valores reportados por (Pérez-Marín *et al.*, 2021) en su estudio sobre tomates cherry en punto de consumo. Además, se observó una consistencia en la forma y un tamaño promedio de los frutos. Los resultados de la caracterización física de los frutos seleccionados de ambos sustratos se presentan de manera concisa en la Tabla 10.

Los datos indican que, en lo que respecta a los aspectos físicos de los frutos, no se observan diferencias significativas en cuanto a su longitud, ancho y peso; lo que sugiere que la calidad física es comparable entre los tomates cultivados en FC y FY; sin embargo, en lo que respecta a la firmeza, se observa una variabilidad significativa atribuida al tipo de sustrato (p valor= 0.028), con los tomates FY mostrando en promedio un 11.4% mayor firmeza en comparación con los frutos de FC. Valores similares fueron reportados en tomates Cherry por (Stommel *et al.*, 2005). Además, estos resultados están en línea con lo observado en los ensayos afectivo y QDA, donde los panelistas, en promedio, calificaron a los frutos FY con mejores puntuaciones, aunque estas no fueron estadísticamente significativas.

Tabla 10: Caracterización física de FC y FY.

Sustrato	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso (g)	Firmeza (N)
COCO	29.7 ± 0.5 ^a	19.1 ± 0.2 ^a	7.2 ± 0.2 ^a	4.4 ± 0.2 ^a
YUCA	30.0 ± 0.5 ^a	19.0 ± 0.3 ^a	7.0 ± 0.2 ^a	4.9 ± 0.1 ^b

*Promedio de 108 muestras de FC y FY respectivamente. Significancia estadística se determinó con un intervalo de confianza de 95%.

Es relevante destacar en nuestro estudio que, a pesar de que la diferencia en firmeza es de solo 0.5 N, algunos panelistas lograron identificar esta diferencia, lo cual influye en la percepción final tanto de los consumidores como de los jueces entrenados. Este hallazgo es importante ya que la diferencia en firmeza no solo afecta la percepción de la calidad, sino que también podría influir en la durabilidad de los frutos durante su almacenamiento y transporte. Se presume que los frutos más firmes son más resistentes a daños mecánicos y tienen una mayor vida útil de anaquel, según (Al-Dairi *et al.*, 2021).

En relación con el color de los frutos, los detalles de las variables de Luminosidad (L), a, b, °Hue y C se presentan en la Tabla 11. De manera general se muestra que ambos frutos presentan características visuales muy similares, ya que los valores de a, que indica tonalidades rojas, y la luminosidad, no mostraron diferencia significativa (p valor=0.50 y 0.57 respectivamente). Sin embargo, el parámetro de b, resultó ser significativamente más alto para FY con una diferencia en valor promedio de 1.3. La evaluación de los valores de °Hue en los frutos provenientes de ambos sustratos reveló una diferencia con significancia estadística (p valor = 0.056), con los frutos cultivados en FC mostrando valores promedio de °Hue ligeramente más bajos (48.8 ± 3.7) en comparación con los cultivados en FY (50.6 ± 3.8). Esta sutil diferencia sugiere una ligera variación en el color entre los dos grupos de frutos.

Tabla 11: Caracterización de color para frutos producidos de FC Y FY.

Sustrato	L* (D65)	a	b	C*	°Hue
COCO	37.2 ± 1.3^a	21.4 ± 2.6^a	24.4 ± 1.9^b	32.5 ± 2.4^a	48.8 ± 3.7^a
YUCA	37.0 ± 1.0^a	21.0 ± 2.1^a	25.7 ± 2.7^a	33.2 ± 2.7^a	50.6 ± 3.8^a

*Promedio de 108 muestras analizadas, la significancia estadística para el factor sustrato se determinó considerando un intervalo de confianza del 95% para los datos presentados.

En relación con el parámetro "b" del sistema CIELAB, que indica la tendencia hacia el amarillo en los tomates, los valores más altos generalmente se asocian con una mayor madurez y una coloración más amarilla o naranja, dependiendo de la variedad. Este cambio de color es un indicador clave de madurez y se relaciona con cambios en la composición química del fruto, como el incremento en los niveles de carotenoides (Hobson & Grierson, 1993). En concordancia con esto, nuestros resultados muestran una acumulación significativamente mayor de licopeno en los frutos de FY, específicamente un 43.5 % más en comparación con los frutos FC. Asociando estos datos con la percepción sensorial, en el ensayo afectivo se observó que los frutos FY recibieron calificaciones ligeramente superiores y, en el análisis QDA, los panelistas también notaron un mayor brillo en estos frutos. Esto subraya la influencia que la percepción del color tiene en la aceptabilidad del producto por parte del consumidor. Las variaciones en los valores de "b" pueden afectar cómo los consumidores perciben la frescura y calidad de los tomates, siendo un color rojo intenso a menudo preferido y asociado con un mejor sabor. Aunque la diferencia en los valores de °Hue es pequeña, en un contexto comercial donde se valora la uniformidad del color, incluso estas diferencias mínimas pueden ser significativas. Sin embargo, para el consumidor promedio, una variación tan leve en el valor de °Hue probablemente no sea perceptible ni influya en su percepción del producto, como se muestra en la Figura 16.

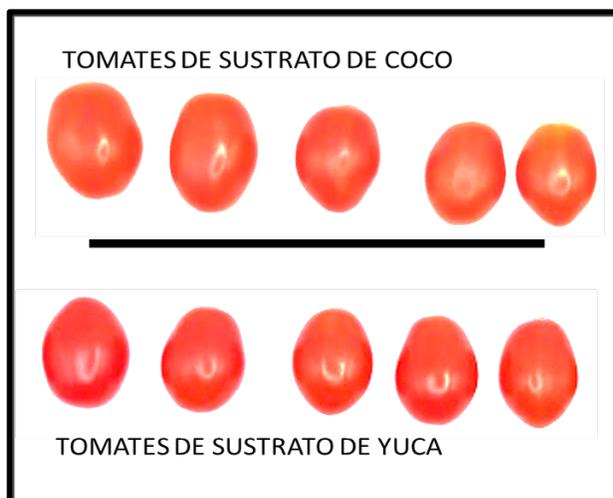


Figura 15: Imagen de 5 tomates aleatorios producidos en sustrato de FC y FY

Relacionado con la caracterización química, la Tabla 12 muestra la composición de frutos de ambos sustratos, abarcando parámetros tales como SST, AT, pH y azúcares reductores.

Tabla 12: Caracterización química de frutos producidos en FC y FY.

Sustrato	Azúcares reductores (mg/g muestra)	° Bx	pH	AT (% ácido cítrico)
COCO	39.2 ± 8.8 ^a	9.4 ± 0.5 ^a	3.7 ± 0.1 ^a	0.50 ± 0.10 ^a
YUCA	30.3 ± 10.0 ^b	9.5 ± 0.5 ^a	3.7 ± 0.1 ^a	0.53 ± 0.13 ^a

*Promedio de 108 muestras analizadas, la significancia estadística para el factor sustrato se determinó considerando un intervalo de confianza del 95 % para los datos presentados.

En lo que respecta a los °Bx, que indican la presencia de compuestos solubles, no se encontró una dependencia significativa con el tipo de sustrato utilizado (p valor = 0.54), registrando valores promedio similares de 9.0±0.7 °Bx para los tomates de FC y 9.1±0.7 °Bx para los de FY. Esta observación inicial sugiere que los compuestos solubles no están directamente relacionados con el tipo de sustrato. Sin embargo, se encontró una influencia significativa del sustrato en el contenido de azúcares reductores (p valor = 0.000), con una acumulación un 29.4 % mayor en los tomates cultivados en FC en comparación con aquellos cultivados en FY, como se presenta en la Tabla 12. Este resultado destaca una notable diferencia entre la medición refractométrica estándar de °Bx (que mide el porcentaje de azúcares en solución) y la percepción sensorial de dulzor (Magwaza & Opara, 2015). A pesar de tener valores de °Bx similares, los tomates FC y FY difieren en su contenido de azúcares reductores y en su percepción de dulzor, siendo más pronunciada en los FC. Sin embargo, esto no se refleja necesariamente en una mayor preferencia o aceptación, ya que los frutos de FY obtuvieron mejores calificaciones.

Además, los valores de acidez total (AT) y pH no mostraron una dependencia significativa del tipo de sustrato (p valor = 0.28 y 0.21, respectivamente). Esto

sugiere que la disminución en el contenido de azúcares podría influir en la percepción de acidez, que se percibió ligeramente más alta en los frutos de FY. Estos hallazgos son coherentes con lo señalado por Malundo *et al.* (1995), quienes afirmaron que la calidad del sabor no solo depende de los sólidos solubles totales, sino también de la relación entre azúcares y ácidos.

Por otro lado, las propiedades físicas y químicas del sustrato también pueden influir en la calidad de los tomates. (Zúñiga López, 2022) encontró diferencias en las características del sustrato de fibra de yuca, resaltando una menor capacidad de intercambio catiónico (FC = 76.4 ± 0.6 y FY = 56.5 ± 0.5) y una menor capacidad de retención de agua (FC = 52.6 ± 1.9 y FY = 31.9 ± 0.3). Estos aspectos nos llevan a considerar que la variabilidad en los resultados podría estar correlacionada con factores como el suministro de agua y nutrientes a las plantas, lo cual podría influir en la disponibilidad de nutrientes y la retención de agua, contribuyendo al aumento de azúcares reductores en los frutos de FC. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de (Auerswald *et al.*, 1999), quienes demostraron que la modificación de la concentración de la solución nutritiva puede influir en la intensidad de los atributos sensoriales y el contenido de azúcares reductores, un efecto que, en nuestro estudio, parece estar modulado por las propiedades del sustrato.

Evaluar estos componentes químicos es crucial para comprender cómo factores como el tipo de sustrato afectan las características finales del producto. Este conocimiento es fundamental y puede orientar en la selección de nuevos sustratos para la producción de alimentos de alta calidad.

6.5 Caracterización fitoquímica

El contenido total de fenoles, flavonoides y licopeno en los frutos de tomate se presenta en la Tabla 13. Los datos muestran de manera general que el contenido de fenoles totales no se ve afectado significativamente por el tipo de sustrato utilizado. No obstante, para el licopeno y flavonoides, la elección del sustrato desempeña un papel crucial (p valor= 0.02 y 0.045 respectivamente), ya que los

frutos cultivados en el sustrato FY tienden a acumular una mayor proporción de estos metabolitos secundarios.

Tabla 13: Contenido de compuestos antioxidantes en frutos de tomate producidos en FC y FY.

Sustrato	Contenido de flavonoides (mg eqv. quercetina /100 g)	Contenido de fenoles totales (mg eqv. ácido gálico/100 g)	Contenido de Licopeno (mg / 100 g)
COCO	26.1 ± 4.6 ^b	90.1 ± 26.1 ^a	4.8 ± 2.4 ^b
YUCA	28.5 ± 5.5 ^a	91.3 ± 25.5 ^a	6.9 ± 4.7 ^a

*Promedio de 54 muestras analizadas, la significancia estadística para el factor sustrato se determinó considerando un intervalo de confianza del 95% para los datos presentados.

Específicamente en cuanto a los compuestos fenólicos, aunque tomates de FY y FC tienen valores promedio similares, cabe destacar el efecto de la temporada de muestreo en el contenido (Figura 17a); ya que, en frutos colectados en el mes de marzo, muestran un contenido promedio de 112.7 ± 13.4 mg/100g de muestra, comparado con los obtenidos en el mes de abril que tiene 68.8 ± 12.7 mg/100g. Según lo reportado por (Rosales *et al.*, 2011), las altas temperaturas, la radiación solar y la presión de vapor de déficit (VPD) son los principales factores responsables del aumento de fenoles totales; posiblemente como un mecanismo de defensa y adaptación.

Los flavonoides, un grupo específico dentro de los compuestos fenólicos, no solo dependen de la temporada de muestreo, sino que también están asociados con el tipo de sustrato utilizado. De manera específica, los tomates cultivados en FY exhibieron un incremento promedio del 9.2 % en su contenido de flavonoides en comparación con aquellos cultivados en FC. Además, al ser parte del grupo de fenoles totales, se observó un efecto notable de la temporada de muestreo en los niveles de flavonoides: en marzo, los valores promedio fueron más elevados en

ambos sustratos, alcanzando una media de 31.1 ± 3.5 mg/100g, mientras que, en abril, el contenido promedio de flavonoides se redujo a 25.5 ± 3.5 mg/100g. Valores similares fueron reportados por (Toor & Savage, 2005), quienes reportaron que la producción de flavonoides es una respuesta de las plantas a varios tipos de estrés abiótico. Específicamente, un estrés inducido por la disponibilidad de agua y nutrientes podría estimular la síntesis de más flavonoides en las plantas. Los flavonoides son cruciales para la protección contra el estrés oxidativo y facilitan la absorción de radicales libres (Torres *et al.*, 2006). Además, actúan no solo como antioxidantes, sino también como moléculas señalizadoras en las rutas metabólicas de las plantas. Un sustrato con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) podría alterar el equilibrio de nutrientes y hormonas en las plantas, afectando así la señalización química y, por consiguiente, la producción de flavonoides (Quinet *et al.*, 2019). Es importante destacar que no se observó un efecto de interacción entre el sustrato y la temporada de muestreo, indicando que los frutos de FC y FY mostraron un comportamiento similar en meses con alta irradiación solar y temperaturas más elevadas (Figura 17c).

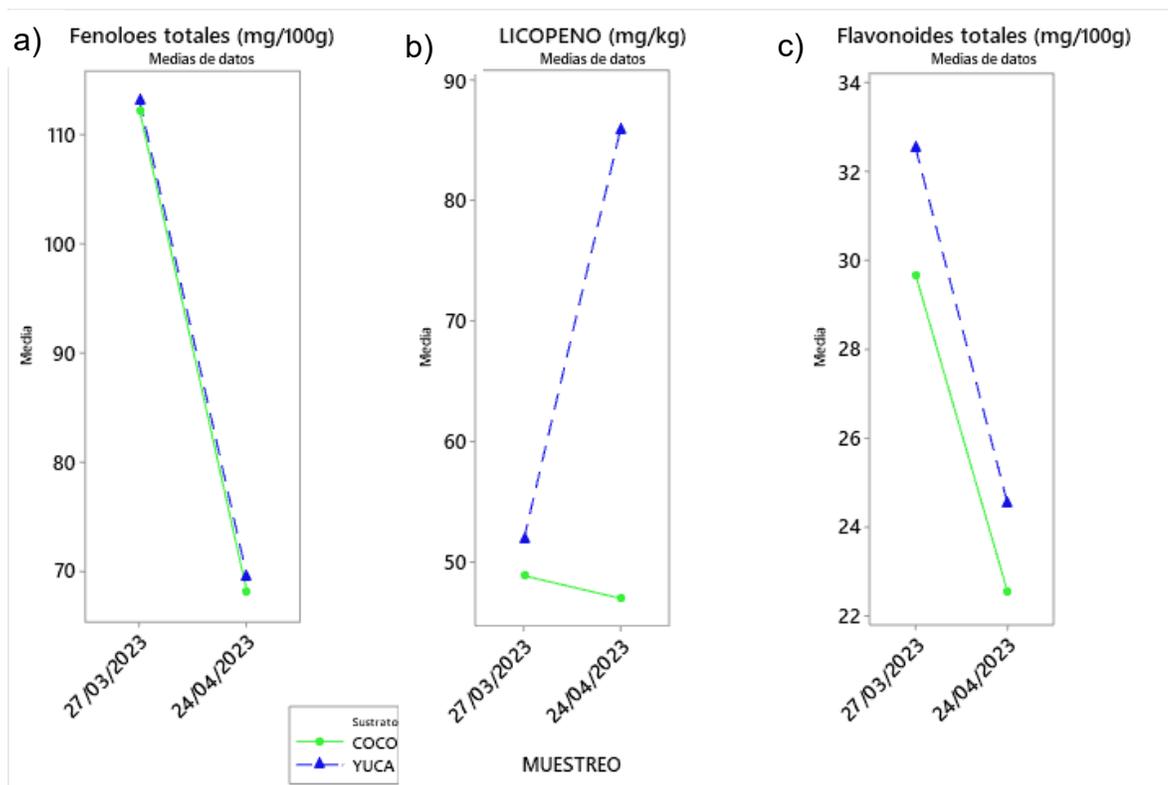


Figura 16: Efecto de interacción de contenido fitoquímico y muestreo

En relación con el contenido de licopeno, se observó una influencia significativa del tipo de sustrato (p valor = 0.02). En promedio, los frutos cultivados en sustrato de FY mostraron un 43.7 % más de licopeno en comparación con los cultivados en FC, como se detalla en la Tabla 13. Un análisis más profundo de los datos reveló que la temporada de muestreo también afecta el contenido de licopeno. Específicamente, en los frutos de FY se registró un incremento en el contenido de licopeno en abril en comparación con marzo. Por otro lado, en los frutos FC, la variación del contenido de licopeno entre marzo y abril fue mínima, disminuyendo ligeramente en promedio. Esta observación concuerda con estudios previos, como el de (Gautier *et al.*, 2008) que relacionan la luz y la temperatura con la regulación de la biosíntesis de carotenoides; asimismo, estos resultados resultan interesantes ya que, aunque las plantas cultivadas en FC y FY están expuestas a mismos factores abióticos, las plantas cultivadas en FY tienen la capacidad de producir un más cantidad de licopeno, tal vez como consecuencia de un mayor estrés inducido por el sustrato.

En términos generales, estos resultados destacan la relevancia de las condiciones ambientales, especialmente la temperatura y la radiación solar, como elementos esenciales que afectan la composición fitoquímica de los tomates. Asimismo, ponen de relieve el potencial del sustrato de yuca para la producción de tomates con un perfil nutricional mejorado y beneficios adicionales para la salud.

6.6 Análisis de ácidos orgánicos

Con el objetivo de profundizar en el papel de los ácidos orgánicos en la percepción sensorial, se llevó a cabo un análisis cromatográfico de estos compuestos. Siguiendo los estándares mencionados en la literatura (Anexo 5) y utilizando el tiempo de retención y el espectro de absorción como criterios, se identificaron el ácido oxálico, málico, ascórbico y cítrico. El análisis reveló una similitud notable en el perfil ácido de los tomates procedentes de los sustratos de FC y de FY, como se muestra en la Figura 18. La cuantificación de estos ácidos se realizó mediante curvas de estándares disponibles. La Tabla 15 detalla el contenido promedio de ácidos oxálico, ascórbico y cítrico en los frutos cultivados en los distintos sustratos.

Tabla 14: Contenido de ácidos orgánicos en frutos de tomate producidos en FC y en FY.

Ácidos orgánicos (mg/100g muestra)			
Sustrato	Ácido cítrico	Ácido oxálico	Ácido ascórbico
COCO	390.6 ± 32.9 ^a	16.1 ± 1.7 ^a	7.1 ± 1.3 ^a
YUCA	430.8 ± 116.9 ^a	19.0 ± 2.7 ^a	6.3 ± 2.5 ^a

*Promedio de 6 muestras compuestas analizadas para frutos de FC y FY. La significancia estadística para el factor sustrato se determinó considerando un intervalo de confianza del 95 % para los datos.

Los análisis muestran que el tipo de sustrato no ejerce un efecto significativo en los niveles de estos ácidos: ácido oxálico (p valor = 0.054), ácido ascórbico (p valor = 0.49) y ácido cítrico (p valor = 0.44). Si bien se notan pequeñas variaciones, éstas

son consistentes con los análisis de acidez total (AT) y se encuentran dentro del rango documentado en estudios previos, como el de (Pérez-Marín *et al.*, 2021).

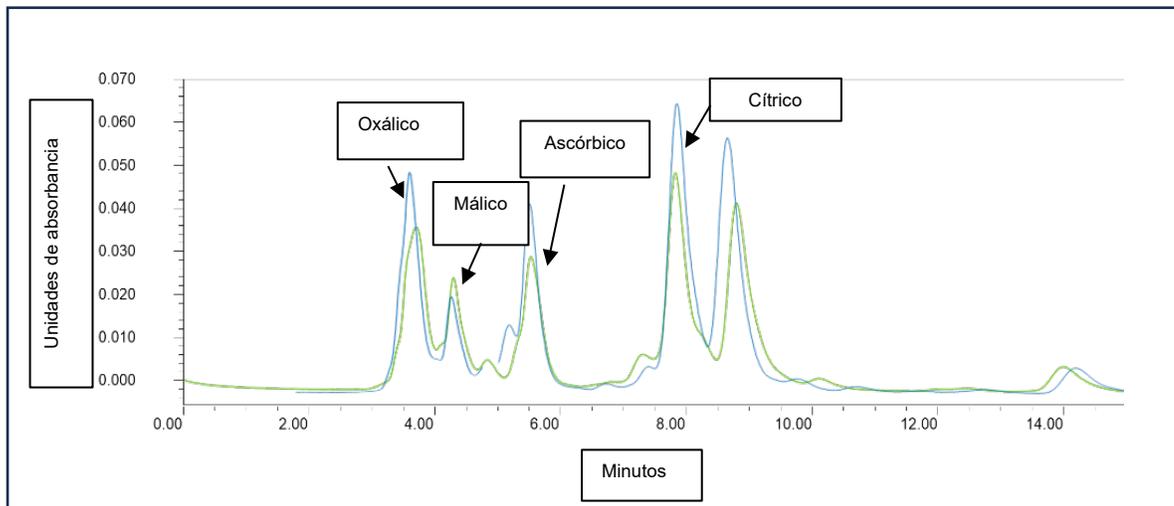


Figura 17: Perfil de ácidos orgánicos a 211 nm; perfil de FC=color verde y FY= color azul

Un aspecto notable es que, en el caso del ácido oxálico, los frutos cultivados en sustrato FY mostraron un contenido aproximadamente 18 % más alto que los cultivados en FC, cerca del límite de la significancia estadística. Esta diferencia podría explicar la mayor percepción de acidez observada en los tomates de FY en nuestros ensayos sensoriales (QDA). Además, los valores de ácido oxálico registrados se alinean con los reportados por (Marconi *et al.*, 2007) y son superiores a los encontrados por (Felföldi *et al.*, 2021) en genotipos de tomates de tamaño mediano y grande. Esto refuerza la idea de que la variabilidad en el contenido de ácidos orgánicos puede estar influenciada por factores genéticos y de cultivo.

Un aspecto particularmente interesante es la estabilidad del ácido ascórbico, que no varía en función del sustrato empleado. Esta constancia puede atribuirse a la característica del ácido ascórbico como una molécula fundamental y altamente preservada en las plantas, crucial tanto para la fotosíntesis como para la protección antioxidante. Dado que su síntesis y regulación están profundamente integradas en la fisiología vegetal, el ácido ascórbico tiende a ser resistente a las variaciones

moderadas en las condiciones de cultivo, según (Walker & Famiani, 2018). Así, la presencia constante de ácido ascórbico en frutos de tomate, independientemente del sustrato utilizado, refleja una sólida regulación metabólica y capacidad adaptativa de las plantas (Walker & Famiani, 2018). Esta uniformidad es importante tanto para las plantas como para los consumidores, ya que asegura una provisión continua de vitamina C, esencial para la salud humana.

6.7 Determinación de perfil volátil

En el estudio de la composición volátil de las muestras de tomate, se empleó un enfoque cromatográfico cualitativo comparativo para identificar diferencias significativas en los perfiles de compuestos volátiles. Este análisis permitió destacar las variaciones en la composición aromática de las muestras. Para profundizar en la comprensión de la variabilidad de los datos, se utilizó una técnica de análisis multivariante y uno de los pasos iniciales en este análisis fue la aplicación del Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) a los compuestos presentes en ambas muestras de tomate. Esta técnica reduce la complejidad de los datos, facilitando su interpretación al resumir la información en componentes principales que capturan la mayor parte de la variabilidad en el conjunto de datos.

Los resultados obtenidos, presentados en la Tabla 15, indican que aproximadamente el 70 % de la variabilidad total de los datos se explica por tres componentes principales. Este hallazgo es significativo, ya que sugiere que la mayoría de las diferencias en la composición volátil de las muestras de tomate pueden ser resumidas y entendidas a través de estos componentes.

Tabla 15: Análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación

Componente Principal	1	2	3	4	5
Valor propio	8.14	3.74	2.43	1.64	1.00
Proporción	0.43	0.20	0.13	0.09	0.05
Acumulada	0.43	0.63	0.75	0.84	0.89

La Tabla 16 ofrece un análisis a detalle de los compuestos volátiles en el tomate, destacando aquellos con notables diferencias entre las muestras. Entre los volátiles, el 1-Hexanol y el 6-metil-5-hepten-2-ona se distinguen por mostrar la mayor variabilidad en el Componente 1. En cuanto al Componente 2, el éster hexílico del ácido fórmico junto con el 6-metil-5-hepten-2-ona emergen como los compuestos con mayores diferencias. Para el Componente 3, es el ciclopropano el que presenta una variabilidad considerable. Estos hallazgos subrayan la diversidad y la complejidad del perfil aromático del tomate, reflejando la variabilidad inherente en su composición química.

Tabla 16: Vectores propios de muestras de frutos de FC y FY

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
Hexanal	0.488	-0.130	0.444	0.443
D-Limonene	-0.141	0.079	-0.009	0.086
6-metil-5-hepten-2-ona	0.526	0.414	-0.524	-0.083
Ciclopropano, propil-	0.203	0.308	0.254	-0.388
Ácido fórmico, éster de hexilo	0.166	-0.665	-0.378	-0.004
1-Hexanol	-0.543	0.234	-0.071	0.125
3-Hexen-1-ol, (Z)-	-0.117	-0.272	-0.096	-0.026
2-Octenal, (E)-	0.113	-0.080	0.263	-0.093
2,6-octadienal, 3,7-dimetil- 1	-0.136	0.035	0.002	0.052
5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dime	0.135	-0.071	0.064	-0.146

La Figura 18 muestra en puntos verdes, las muestras de tomate de FC, mientras que los puntos azules corresponden a muestras de FY. En la figura se puede observar que las muestras de frutos de FC se distinguen por la presencia predominante de volátiles derivados de los alcoholes, como el 1-hexanol, con notas ligeramente herbáceas y florales, el 3-hexen-1-ol-(Z)-, que aporta un aroma fresco y verde similar al de la hierba recién cortada, y el éster hexílico del ácido fórmico, que varía desde tonos frutales hasta cítricos o ligeramente florales. Estos volátiles C6 han sido ampliamente estudiados en la literatura científica, como lo detallan Baldwin *et al.* (2000); Tieman *et al.* (2017) y Manzo *et al.* (2018). Se caracterizan por sus perfiles aromáticos distintivamente "verdes y herbáceos" (Burdock &

Fenaroli, 2010). La biosíntesis de estos compuestos comienza con ácidos grasos C18, como el ácido linoleico o el ácido linolénico (Chen *et al.*, 2004); posteriormente es la alcohol deshidrogenasa2 (ADH2) —identificada como la primera enzima directamente vinculada a la producción de volátiles C6 en tomates— la que cataliza la conversión de hexanal y cis-3-hexenal (aldehídos) a sus respectivos alcoholes (Wang *et al.*, 2016).

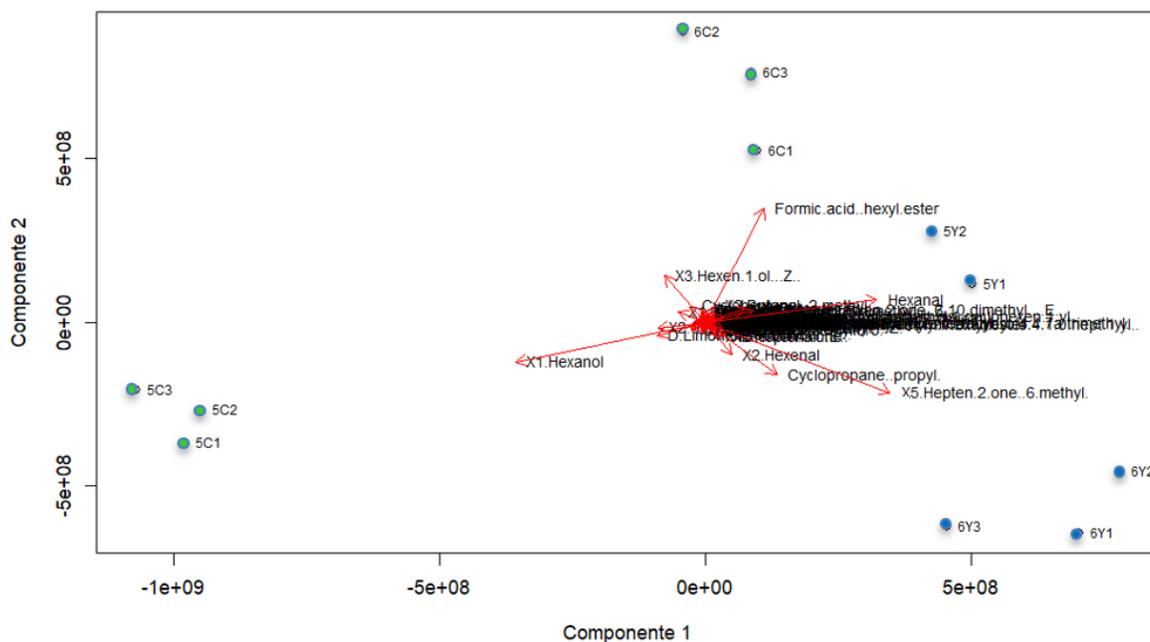


Figura 18: PCA: Componentes 1-2 de todos los compuestos encontrados en la cromatografía de gases

Por otro lado, las muestras de tomates de FY se caracterizan principalmente por la presencia del compuesto 6-metil-5-hepten-2-ona, el cual está asociado con aromas afrutados, dulces y frescos (Burdock & Fenaroli, 2010). Este compuesto es particularmente notable debido a su pertenencia a la familia de las cetonas y su formación deriva de la escisión oxidativa del licopeno, el principal pigmento de color en los frutos maduros y el cual resulta tener un contenido significativamente más alto en tomates de sustrato de FY. La presencia de 5-hepten-2-ona-6-metilo en los tomates de FY es relevante, ya que los volátiles apocarotenoides como este, están en proporción directa con los contenidos de sus precursores carotenoides en los

frutos; por lo tanto, el contenido de 6-metil-5-hepten-2-ona está directamente proporcional al contenido de licopeno (Tieman *et al.*, 2017).

Al analizar los Componentes 1 y 3, tal como se ilustra en la Figura 19, se observa la presencia de compuestos C6, pero además se muestra el ciclopentano. De manera particular, los volátiles C5, identificados por sus notas aromáticas “afrutadas” (Burdock & Fenaroli, 2010), son especialmente relevantes. Estos compuestos han demostrado una fuerte correlación con las preferencias de los consumidores hacia las frutas frescas (Shen *et al.*, 2014). Este vínculo subraya la importancia de los volátiles C5 en la percepción sensorial y la aceptabilidad del tomate, reflejando su papel clave en la experiencia gustativa del consumidor.

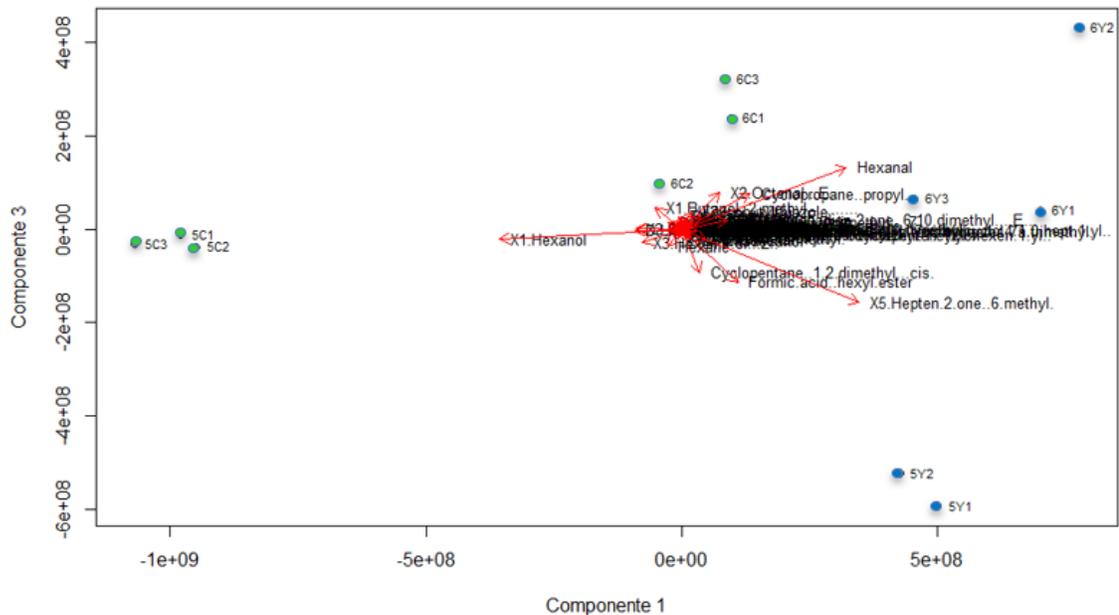


Figura 19: PCA: Componentes 1 y 3 de todos los compuestos encontrados en la cromatografía de gases

La presencia distintiva de compuestos volátiles como hexenal, hexanal y 5-hepten-2-ona, 6-metilo en los frutos cultivados en FY, en comparación con aquellos de FC, en los que predominan hexanol y (Z)-3-hexen-1-ol, proporciona una perspectiva valiosa sobre la influencia del sustrato en la biosíntesis de volátiles en los tomates.

Estos aldehídos, alcoholes y derivados de terpenos presentan diferencias significativas en la intensidad de sus aromas, lo que sugiere un impacto considerable en la percepción sensorial del consumidor y en las evaluaciones del panel QDA. Este hallazgo destaca la importancia de los compuestos volátiles C6 en la definición sensorial del tomate, evidenciando su rol esencial en la experiencia gustativa y la aceptabilidad del producto. En resumen, se observa una variabilidad notable en los perfiles volátiles de los tomates cultivados en sustratos de FC y FY. Mientras que los frutos de FC se caracterizan por un perfil volátil más verde y herbáceo, los de FY presentan una gama de compuestos con notas dulces y frutales. Esta diferencia contribuye a la percepción sensorial y a la preferencia de los consumidores por los frutos de FY. A pesar de los retos que presenta la implementación de técnicas cromatográficas para identificar compuestos clave, una estrategia complementaria podría ser la implementación de paneles sensoriales especializados y entrenados. Estos paneles podrían ayudar a correlacionar la variabilidad entre los °Bx y la aceptabilidad sensorial, enriqueciendo la comprensión de las cualidades sensoriales del fruto y minimizando el rechazo del consumidor debido a discrepancias sensoriales. Además, es crucial reconocer el papel de los componentes bioquímicos de los tomates, como los carotenoides y sus productos de degradación, incluyendo la 6-metil-5-hepten-2-ona, en las características sensoriales de estos frutos. Estos componentes influyen en la experiencia gustativa y olfativa, realzando el valor de los tomates en términos de sabor y aroma. Este aspecto resalta la complejidad de la percepción sensorial y enfatiza la importancia de considerar múltiples factores, más allá de los °Bx, para evaluar la calidad sensorial de los productos agrícolas.

6.8 Asociación de composición con °Bx

La interpretación tradicional de los grados °Bx como un indicador del porcentaje de sacarosa en solución, y en el caso de frutos maduros, como una medida de azúcares libres, presenta limitaciones significativas al aplicarse a los tomates, especialmente a la variedad 'Grape'. Aunque estos frutos muestran un rango

promedio de 9.4 a 9.5 °Bx, un análisis más detallado de su composición química revela que solo una fracción menor de este valor (3.9 °Bx para los tomates de sustrato FC y 3.0 °Bx para los de sustrato FY) corresponde a azúcares reductores. El resto, equivalente a 5.5 y 6.55 °Bx respectivamente, proviene de otros componentes que afectan esta medición refractométrica.

Un análisis de regresión detallado, mostrado en la Figura 20, explora la relación entre los °Bx y la composición química de los tomates. Este análisis destaca una correlación positiva entre el contenido de ácido oxálico ($r^2=0.14$) y una correlación negativa con el ácido ascórbico ($r^2=-0.15$), aunque el modelo lineal no presenta un buen ajuste. Interesantemente, el contenido de ácido cítrico y los azúcares reductores no muestran una asociación significativa con los °Bx ($r^2=0.011$ y $r^2=0.003$, respectivamente), a pesar de ser los principales componentes del tomate y tener un papel importante en la percepción gustativa.

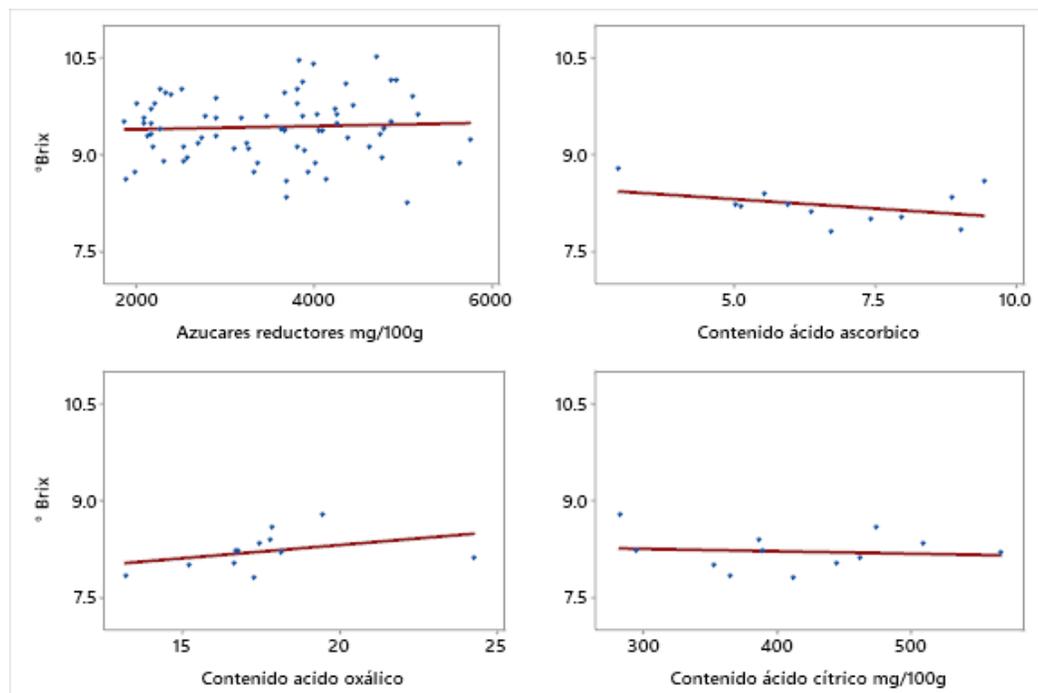


Figura 20: Regresión de °Bx con ácido cítrico, ácido ascórbico, ácido oxálico y azúcares reductores

Por otro lado, el análisis de regresión que vincula los °Bx con las variables fitoquímicas, presentado en la Figura 21, indica que no existe una asociación clara para el contenido de fenoles totales, flavonoides totales y licopeno en frutos maduros de tomate ($r^2=0.03$, $r^2=0.002$ y $r^2=0.02$ respectivamente). Esto sugiere que los °Bx no reflejan con precisión la composición fitoquímica del fruto; además de que muestra las limitaciones de los °Bx, para evaluar de manera exhaustiva la calidad de los tomates. Este conocimiento es crucial para la investigación y el desarrollo en la industria alimentaria, pues subraya la necesidad de considerar un espectro más amplio de medidas y análisis para evaluar con precisión la calidad y las propiedades nutricionales de los tomates.

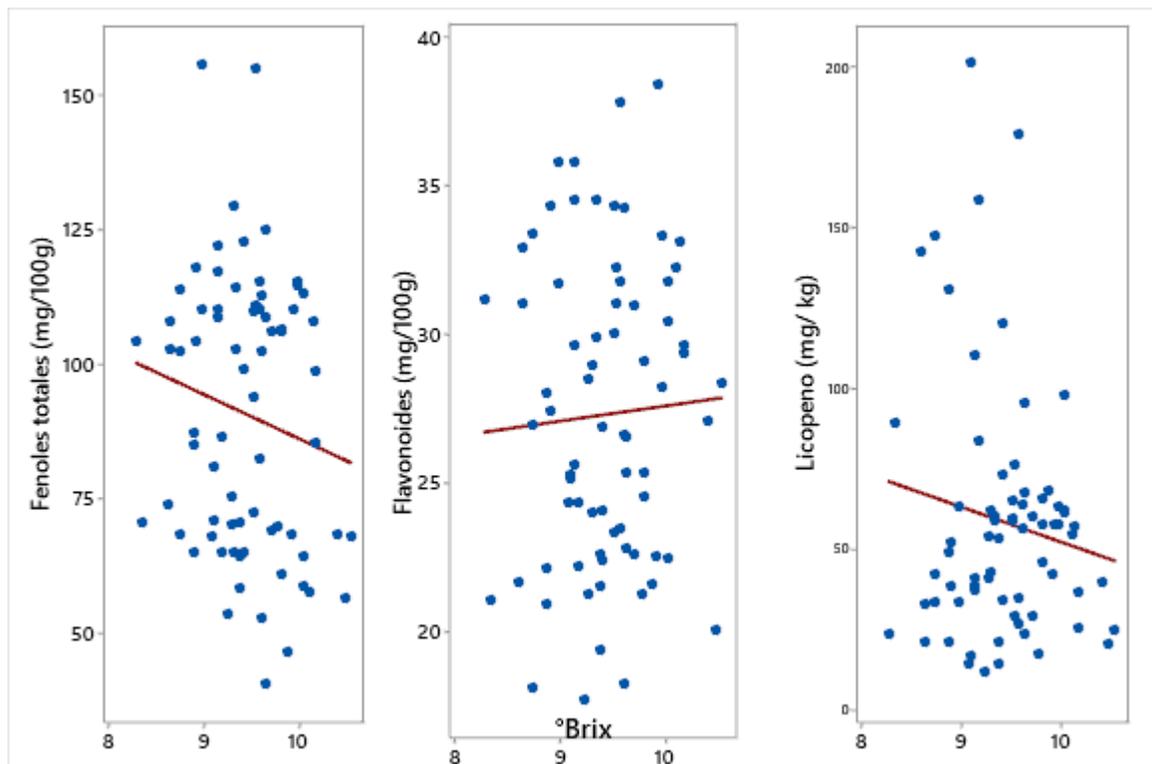


Figura 21: Asociación de °Bx con compuestos fitoquímicos en frutos de FC y FY.

VII. CONCLUSIONES

Este estudio reveló una preferencia ligeramente marcada hacia los tomates cultivados en sustrato de fibra de yuca. Dicha preferencia puede ser atribuida a varios factores: en primer lugar, a un balance más equilibrado entre dulzor y acidez, resultando en frutos con menor dulzura y mayor acidez; en segundo lugar, a mejoras en la apariencia de los tomates, posiblemente debido a un aumento en el contenido de licopeno; además, a un nivel de amargor más intenso pero agradable para el consumidor, que podría ser resultado de una mayor concentración de flavonoides. Otro factor relevante es un perfil aromático distintivo y más complejo. Dentro de este perfil, se resalta la presencia del 5-hepten-2-ona-6-metilo, un volátil apocarotenoide que contribuye significativamente a las percepciones de frescura, dulzura y notas frutales en los frutos.

Asimismo, se resalta la importancia de controlar factores como el clima y las prácticas agronómicas, en particular el riego, debido a su influencia significativa en el contenido y calidad de los frutos. Las variaciones observadas en este estudio, en parte atribuidas a la inconsistencia en el riego, llevaron a la adopción de medidas correctivas que ayudaron a homogeneizar la calidad de los frutos en ambos sustratos.

Desde una perspectiva ambiental, este estudio subraya la viabilidad de utilizar residuos agroindustriales en la producción de alimentos de manera sostenible, destacando la posibilidad de mantener o mejorar la calidad de los tomates mediante estas prácticas. Este enfoque ofrece alternativas sostenibles frente a la inminente escasez de recursos como la fibra de coco, beneficiando tanto a productores como a consumidores.

En relación con los tomates tipo “Grape”, se observa que los sólidos solubles totales (SST) no están compuestos únicamente por azúcares reductores. Aunque frutos de ambos sustratos mostraron °Bx similares, la comparación entre frutos cultivados en diferentes sustratos revela que los °Bx pueden deberse a distintos factores: en los

frutos de FC, se asocian principalmente con el contenido de azúcares reductores, mientras que en los de FY, se relacionan más con un mayor contenido de ácido oxálico, flavonoides totales y licopeno. A pesar de los retos que presenta la implementación de técnicas cromatográficas para identificar compuestos clave, la implementación de paneles sensoriales especializados y entrenados podría ser una estrategia complementaria eficaz. Estos paneles permitirían correlacionar la variabilidad entre los °Bx y la aceptabilidad sensorial, mejorando la comprensión de las características sensoriales del fruto y reduciendo el rechazo del consumidor debido a discrepancias sensoriales.

VIII. REFERENCIAS

- Al-Dairi, M., Pathare, P. B., & Al-Yahyai, R. (2021). Effect of Postharvest Transport and Storage on Color and Firmness Quality of Tomato. *Horticulturae*, 7(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7070163>
- Araújo de Almeida, M., & Colombo, R. (2021). Construction of green roofs via using the substrates made from humus and green coconut fiber or sugarcane bagasse. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 22, 100477. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100477>
- Araujo, J. C., & Telhado, S. F. P. (2015). Organic Food: A Comparative Study of the Effect of Tomato Cultivars and Cultivation Conditions on the Physico-Chemical Properties. *Foods*, 4(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/foods4030263>
- Asociación Española de Normalización y certificación. (1995). *UNE 87 024-1: Análisis sensorial : guía general para la selección, entrenamiento y control de jueces. Parte 1, Catadores*. AENOR.
- Auerswald, H., Schwarz, D., Kornelson, C., Krumbein, A., & Brückner, B. (1999). Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. *Scientia Horticulturae*, 82(3–4), 227–242. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00058-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00058-8)
- Baldwin, E. A., Scott, J. W., Shewmaker, C. K., & Schuch, W. (2000). Flavor Trivia and Tomato Aroma: Biochemistry and Possible Mechanisms for Control of Important Aroma Components. *HortScience*, 35(6), 1013–1022. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.6.1013>

- Burdock, G. A., & Fenaroli, G. (2010). *Fenaroli's handbook of flavor ingredients* (6th ed). CRC Press/Taylor & Francis Group.
- Chen, G., Hackett, R., Walker, D., Taylor, A., Lin, Z., & Grierson, D. (2004). Identification of a Specific Isoform of Tomato Lipoxygenase (TomloxC) Involved in the Generation of Fatty Acid-Derived Flavor Compounds. *Plant Physiology*, *136*(1), 2641–2651. <https://doi.org/10.1104/pp.104.041608>
- Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Hernanz, D., Benítez-González, A. M., Stinco, C. M., & Meléndez-Martínez, A. J. (2018). Antioxidants (carotenoids and phenolics) profile of cherry tomatoes as influenced by deficit irrigation, ripening and cluster. *Food Chemistry*, *240*, 870–884. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.028>
- Felföldi, Z., Ranga, F., Socaci, S. A., Farcas, A., Plazas, M., Sestras, A. F., Vodnar, D. C., Prohens, J., & Sestras, R. E. (2021). Physico-Chemical, Nutritional, and Sensory Evaluation of Two New Commercial Tomato Hybrids and Their Parental Lines. *Plants*, *10*(11), 2480. <https://doi.org/10.3390/plants10112480>
- Flores Ramírez, G. (2017). *Propuesta para el aprovechamiento de residuos industriales de yucca*. <http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/23260>
- Gautier, H., Diakou-Verdin, V., Bénard, C., Reich, M., Buret, M., Bourgaud, F., Poëssel, J. L., Caris-Veyrat, C., & Génard, M. (2008). *How Does Tomato Quality (Sugar, Acid, and Nutritional Quality) Vary with Ripening Stage, Temperature, and Irradiance?* *10*. <https://doi.org/10.1021/jf072196t>

- Gupta, C., & Prakash, D. (2014). Phytonutrients as therapeutic agents. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 11(3). <https://doi.org/10.1515/jcim-2013-0021>
- Hussain, R., Shah, A., & Afzal, M. (2013). Distribution of sensory taste thresholds for phenylthiocarbamide (PTC) taste ability in North Indian Muslim populations. *Egyptian Journal of Medical Human Genetics*, 14(4), Article 4.
- Kader, A. A. (1999). Fruit maturity, ripening and quality relationships. *Acta Hort.*, 485, 203–208.
- Koviessen, S., O'Sullivan, A., Gholami, M., Vining, M., & De Vries, T. (2023). Physical and chemical parameters of various waste materials for living roof systems: A critical review. *Ecological Engineering*, 194, 107013. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107013>
- Kyriacou, M. C., & Roupael, Y. (2018). Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 234, 463–469. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.046>
- Magwaza, L. S., & Opara, U. L. (2015). Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products—A review. *Scientia Horticulturae*, 184, 179–192. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.001>
- Malundo, T. M. M., Shewfelt, R. L., & Scott, J. W. (1995). Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. *Postharvest Biology and Technology*, 6(1–2), 103–110. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)00052-T](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)00052-T)

- Manzo, N., Pizzolongo, F., Meca, G., Aiello, A., Marchetti, N., & Romano, R. (2018). Comparative Chemical Compositions of Fresh and Stored Vesuvian PDO “Pomodorino Del Piennolo” Tomato and the Ciliegino Variety. *Molecules*, 23(11), 2871. <https://doi.org/10.3390/molecules23112871>
- Marconi, O., Floridi, S., & Montanari, L. (2007). ORGANIC ACIDS PROFILE IN TOMATO JUICE BY HPLC WITH UV DETECTION. *Journal of Food Quality*, 30(2), 253–266. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00119.x>
- Paucek, I., Pennisi, G., Pistillo, A., Appolloni, E., Crepaldi, A., Calegari, B., Spinelli, F., Cellini, A., Gabarrell, X., Orsini, F., & Gianquinto, G. (2020). Supplementary LED Interlighting Improves Yield and Precocity of Greenhouse Tomatoes in the Mediterranean. *Agronomy*, 10(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071002>
- Pérez-Marín, J., Issa-Issa, H., Clemente-Villalba, J., García-Garví, J. M., Hernández, F., Carbonell-Barrachina, Á. A., Calín-Sánchez, Á., & Noguera-Artiaga, L. (2021). Physicochemical, Volatile, and Sensory Characterization of Promising Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivars: Fresh Market Aptitudes of Pear and Round Fruits. *Agronomy*, 11(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040618>
- Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F. J., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martinez, J.-P., & Lutts, S. (2019). Tomato Fruit Development and Metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1554. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>

- Rosales, M. A., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. del M., Blasco, B., Ríos, J. J., Soriano, T., Castilla, N., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2011). The effect of environmental conditions on nutritional quality of cherry tomato fruits: Evaluation of two experimental Mediterranean greenhouses. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *91*(1), 152–162. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4166>
- Schafer, G., & Lerner, B. L. (2022). Physical and chemical characteristics and analysis of plant substrate. *Ornamental Horticulture*, *28*, 181–192. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v28i2.2496>
- Serrano-Megías, M., & López-Nicolás, J. M. (2006). Application of agglomerative hierarchical clustering to identify consumer tomato preferences: Influence of physicochemical and sensory characteristics on consumer response. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *86*(4), 493–499. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2392>
- Shen, J., Tieman, D., Jones, J. B., Taylor, M. G., Schmelz, E., Huffaker, A., Bies, D., Chen, K., & Klee, H. J. (2014). A 13-lipoxygenase, TomloxC, is essential for synthesis of C5 flavour volatiles in tomato. *Journal of Experimental Botany*, *65*(2), 419–428. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert382>
- SIAP. (2022). *Cierre de producción agrícola 2022, tomate rojo*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Stommel, J., Abbott, J. A., Saftner, R. A., & Camp, M. J. (2005). Sensory and Objective Quality Attributes of Beta-carotene and Lycopene-rich Tomato

- Fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(2), 244–251. <https://doi.org/10.21273/JASHS.130.2.244>
- Tandon, K. s., Baldwin, E. a., Scott, J. w., & Shewfelt, R. I. (2003). Linking Sensory Descriptors to Volatile and Nonvolatile Components of Fresh Tomato Flavor. *Journal of Food Science*, 68(7), 2366–2371. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05774.x>
- Tieman, D., Bliss, P., McIntyre, L. M., Blandon-Ubeda, A., Bies, D., Odabasi, A. Z., Rodríguez, G. R., van der Knaap, E., Taylor, M. G., Goulet, C., Mageroy, M. H., Snyder, D. J., Colquhoun, T., Moskowitz, H., Clark, D. G., Sims, C., Bartoshuk, L., & Klee, H. J. (2012). The Chemical Interactions Underlying Tomato Flavor Preferences. *Current Biology*, 22(11), 1035–1039. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.04.016>
- Tieman, D., Zhu, G., Resende, M. F. R., Lin, T., Nguyen, C., Bies, D., Rambla, J. L., Beltran, K. S. O., Taylor, M., Zhang, B., Ikeda, H., Liu, Z., Fisher, J., Zemach, I., Monforte, A., Zamir, D., Granell, A., Kirst, M., Huang, S., & Klee, H. (2017). A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. *Science*, 355(6323), 391–394. <https://doi.org/10.1126/science.aal1556>
- Toor, R. K., & Savage, G. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38(5), 487–494. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.10.016>
- Torres, C. A., Andrews, P. K., & Davies, N. M. (2006). Physiological and biochemical responses of fruit exocarp of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) mutants

- to natural photo-oxidative conditions. *Journal of Experimental Botany*, 57(9), 1933–1947. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj136>
- Walker, R. P., & Famiani, F. (2018). Organic Acids in Fruits: Metabolism, Functions and Contents. En I. Warrington (Ed.), *Horticultural Reviews* (1a ed., pp. 371–430). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119431077.ch8>
- Wang, L., Baldwin, E. A., & Bai, J. (2016). Recent Advance in Aromatic Volatile Research in Tomato Fruit: The Metabolisms and Regulations. *Food and Bioprocess Technology*, 9(2), 203–216. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1638-1>
- Watts, B. M., Ylimaki, G. L., Jeffery, L. E., & Elías, L. G. (1992). *Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos*. International Development Research Centre.
- Zúñiga López, M. (2022). *Tesis "Evaluación de la calidad de pepino (Cucumis sativus L.) producido en sustrato de yuca (Yucca schidigera), de agave (Agave tequilana Weber var. Azul) y de coco bajo condiciones de invernadero"*.

IX. ANEXOS

ANEXO 1: Consentimiento informado

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
Posgrado de Alimentos, Facultad de Química
Consentimiento informado

TÍTULO DEL PROYECTO

“ASOCIACIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES CON LA COMPOSICIÓN Y PERCEPCIÓN SENSORIAL DE TOMATES TIPO “GRAPE” PRODUCIDOS EN DOS SUSTRATOS ORGÁNICOS “

LUGAR

Planta piloto de alimentos y Laboratorio de evaluación sensorial. Parque biotecnológico, Facultad de Química.

INVITACIÓN

Se hace una invitación a los alumnos del área de Químico en Alimentos que han realizado evaluaciones sensoriales y conocen las características que deben cumplir un panel descriptivo. Los panelista estarán involucrados por un periodo de 5 meses y los siguientes apartados muestran información importante acerca del proyecto de investigación, con el fin de dar a conocer y comprender el alcance de este. Este proceso se conoce como consentimiento informado. Se le invita a que pregunte cualquier aspecto sobre el estudio para aclarar sus dudas. Una vez que se haya comprendido el objetivo y el alcance del estudio, y si se desea participar, se le solicitará que firme este consentimiento informado, del cual se le entregará una copia firmada.

I. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La calidad de los productos hortícolas se puede medir fisicoquímicamente mediante análisis de compuestos, pero la calidad sensorial, determinada por el consumidor, es igualmente crucial. El "flavor" (sabor y aroma) es un parámetro esencial para el consumidor, influenciado por la presencia y concentración de diversos compuestos. Estos compuestos, a menudo solubles en agua, pueden evaluarse mediante pruebas como el índice de refracción (IR), donde una mayor concentración de sólidos solubles totales (SST) incrementa el valor del IR. Los azúcares libres, predominantes en frutos, se miden tradicionalmente como °Brix (°Bx) para evaluar la calidad, pero en tomates, otros solutos en los SST también afectan el IR y, por ende, el perfil de "flavor". Los tomates tipo "Grape" cultivados en invernadero con sustratos orgánicos pueden presentar variaciones en su composición química y perfil sensorial. En la industria, el contenido de SST, estandarizado en 7.0 °Bx para tomates "Grape" de exportación, es un indicador de calidad sensorial. El incumplimiento de este estándar puede acarrear pérdidas económicas. La presente investigación se enfoca en el impacto de sustratos orgánicos, específicamente de

fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) y yuca (*Yucca Schidigera*), en la calidad física, composición química, especialmente los SST, y el perfil aromático de tomates "Grape". Se busca entender su relación con la aceptación sensorial, contribuyendo así a la producción sostenible de hortalizas y a reducir las pérdidas económicas derivadas de la discrepancia entre la aceptación sensorial y los métodos analíticos, en particular los °Bx.

II. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Evaluar la asociación de la composición fisicoquímica, fitoquímica y volátil con el valor de °Bx y la percepción sensorial de tomates tipo "Grape" producidos convencionalmente en sustrato orgánico de coco (*Cocos nucifera* L.) y de yuca (*Yucca schidigera*). Este análisis busca esclarecer las discrepancias entre estos aspectos, con el objetivo de minimizar las pérdidas asociadas a dichas diferencias.

III. BENEFICIOS DEL ESTUDIO

Con este estudio se obtendrá información relevante sobre la asociación de las mediciones analíticas actualmente utilizadas como los SST con el perfil de aceptación sensorial del cliente; con la finalidad de identificar compuestos relevantes en el sabor y complementar o generar una alternativa de los parámetros que actualmente evidencian la calidad de los °Bx.

IV. CRITERIOS DE RECLUTAMIENTO

Los panelistas serán seleccionados en base al interés, el tiempo disponible, que sean consumidores de tomates o productos a base de tomate y que no sean alérgicos a los mismos.

V. PROCEDIMIENTO DEL ESTUDIO

Primeramente, se verificará la sensibilidad sensorial a través de pruebas de reconocimiento e intensidad de dulzor y acidez usando soluciones de fructosa, glucosa y sacarosa; y de ácido cítrico, ácido málico y ácido ascórbico; además se usarán productos de tomate para la identificación de aromas, con la incorporación de compuestos volátiles característicos de tomate en madurez comercial. Posteriormente se usarán tomates frescos comercialmente disponibles para identificar defectos, magnitud de estos y las características organolépticas (color, aroma, textura y sabor).

El análisis sensorial descriptivo se llevará a cabo en dos etapas; la primera será para generar y describir los descriptores de tomate usando diferentes variedades "Grape"; en la segunda se realizará la evaluación descriptiva de los tomates a evaluar; tipo "Grape" de producción orgánica y convencional, usando los descriptores seleccionados y una escala no estructurada que va desde 0 (sin intensidad) a 15 cm (intensidad extremadamente alta) (Anexo 2). Las muestras serán servidas a temperatura ambiente en vasos codificados aleatoriamente con números de 3 dígitos. Para limpiar el paladar entre cada muestra a analizar se proporcionarán galletas neutras sin sal y agua. Cada muestra se analizará por triplicado (n = 3).

VI. RIESGOS ASOCIADOS CON EL ESTUDIO

Los riesgos asociados al estudio pueden estar dados por alguna alergia a los tomates; sin embargo, este es un criterio de exclusión; a pesar de esto se estará revisando que los panelistas no presenten alguna situación de este tipo.

Por otro lado, el riesgo de intoxicación alimentaria se disminuye ya que las muestras serán sanitizadas antes de la prueba sensorial. Además, se evaluará la eficacia del proceso de sanitización a través del análisis microbiológico de las muestras sanitizadas. En caso de que cualquier participante presente algún efecto adverso por el consumo del producto, este será excluido y enviado a los servicios médicos del equipo de salud interno de la UAQ, ubicado en el edificio 1 de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro, en el cual se cubrirán los gastos médicos por parte del equipo de investigación, además se realizará un seguimiento y monitoreo de la salud del personal afectado.

VII. ACLARACIONES

- La decisión de participar es completamente voluntaria.
- Los panelistas estarán involucrados en el estudio 4 meses, mismos que deben tener disponibilidad.
- No habrá ninguna consecuencia desfavorable para usted en caso de no aceptar la invitación. Si decide participar en el estudio puede retirarse en el momento que lo desee, pudiendo informar o no las razones de su decisión, la cual será respetada en su integridad.
- No recibirá beneficio económico por su participación en el estudio.
- En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo al investigador responsable.
- La información obtenida en este estudio será mantenida con estricta confidencialidad por el grupo de investigación.
- En caso de que usted desarrolle algún efecto adverso secundario no previsto, se le proporcionará el cuidado médico apropiado, siempre que estos efectos sean consecuencia de la participación en el estudio.
- En caso de que usted presente un comportamiento indebido hacia los participantes del estudio y aplicadores del mismo, así como falta de acatamiento a las reglas en el procedimiento de la evaluación sensorial, se le retirará del estudio.

VIII. INFORMACIÓN DEL CONTACTO

Si tiene alguna pregunta acerca de su participación en el estudio, puede comunicarse con el coordinador del trabajo a cargo del LG Manuel Alberto Cortés Cuán al correo: cortesc331@gmail.com, o llamar al número 442 787 39 00. Si desea la opinión de otra persona, puede consultar al médico de su confianza.

IX. ACEPTACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, _____, he sido invitado a participar en la evaluación sensorial de frutos de tomate. He sido informado de la naturaleza del producto y entiendo que participaré en una prueba sensorial descriptiva. Sé que puede que no haya beneficios para mi persona y que no se me recompensará económicamente. Se me ha proporcionado el nombre del investigador y los datos para que fácilmente lo pueda contactar. Así mismo, he leído la información proporcionada y he tenido la oportunidad de preguntar acerca de ella, a lo cual se me ha contestado a entera satisfacción. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos.

Consiento voluntariamente participar en esta investigación como participante y entiendo que tengo el derecho de retirarme de la investigación en cualquier momento sin que me afecte en ninguna manera mi persona.

Nombre del Participante: _____

Firma del Participante: _____

Fecha (Día/mes/año): _____

He explicado al C: _____ la naturaleza y los propósitos de la investigación, describiendo los riesgos y beneficios que implican su participación. He contestado todas las preguntas y he preguntado si tiene alguna duda sobre el estudio. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar la investigación con seres humanos y me apego a ella. Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas se procedió a firmar el presente documento.

Firma del investigador

Fecha de la firma

X. CARTA DE REVOCACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del proyecto: **ASOCIACIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES CON LA COMPOSICIÓN Y PERCEPCIÓN SENSORIAL DE TOMATES TIPO “GRAPE” PRODUCIDOS EN DOS SUSTRATOS ORGÁNICOS.**

Investigador principal: LG Manuel Alberto Cortés Cuán.

Sede donde se realizará el estudio: Planta Piloto de Alimentos y Laboratorio de evaluación sensorial; Parque biotecnológico, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro.

Nombre del participante:

Por este conducto deseo informar mi decisión de retirarme de esta investigación por las siguientes razones (opcional):

Nombre, fecha y firma del participante

ANEXO 2: Formato de evaluación descriptiva de frutos de tomate

ASOCIACIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES CON LA COMPOSICIÓN Y PERCEPCIÓN SENSORIAL DE TOMATES TIPO “GRAPE” PRODUCIDOS EN DOS SUSTRATOS ORGÁNICOS

OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar la asociación de la composición fisicoquímica, fitoquímica y volátil con el valor de °Bx y la percepción sensorial de tomates tipo “Grape” producidos convencionalmente en sustrato orgánico de coco (*Cocos nucifera* L.) y de yuca (*Yucca schidigera*). Este análisis busca esclarecer las discrepancias entre estos aspectos, con el objetivo de minimizar las pérdidas asociadas a dichas diferencias.

Investigador principal: LG Manuel Alberto Cortés Cuán.

Nombre:

Fecha:

Favor de evaluar los siguientes atributos de la muestra frente a usted de izquierda a derecha, tomando sorbos de agua y galletas neutras para limpiar su paladar entre muestras.

Sabores		
Poco	Dulzor	Mucho
Poco	Acidez	Mucho
Poco	Amargo	Mucho
Poco	Salado	Mucho
Poco	Umami	Mucho

Apariencia/Textura		
--------------------	--	--

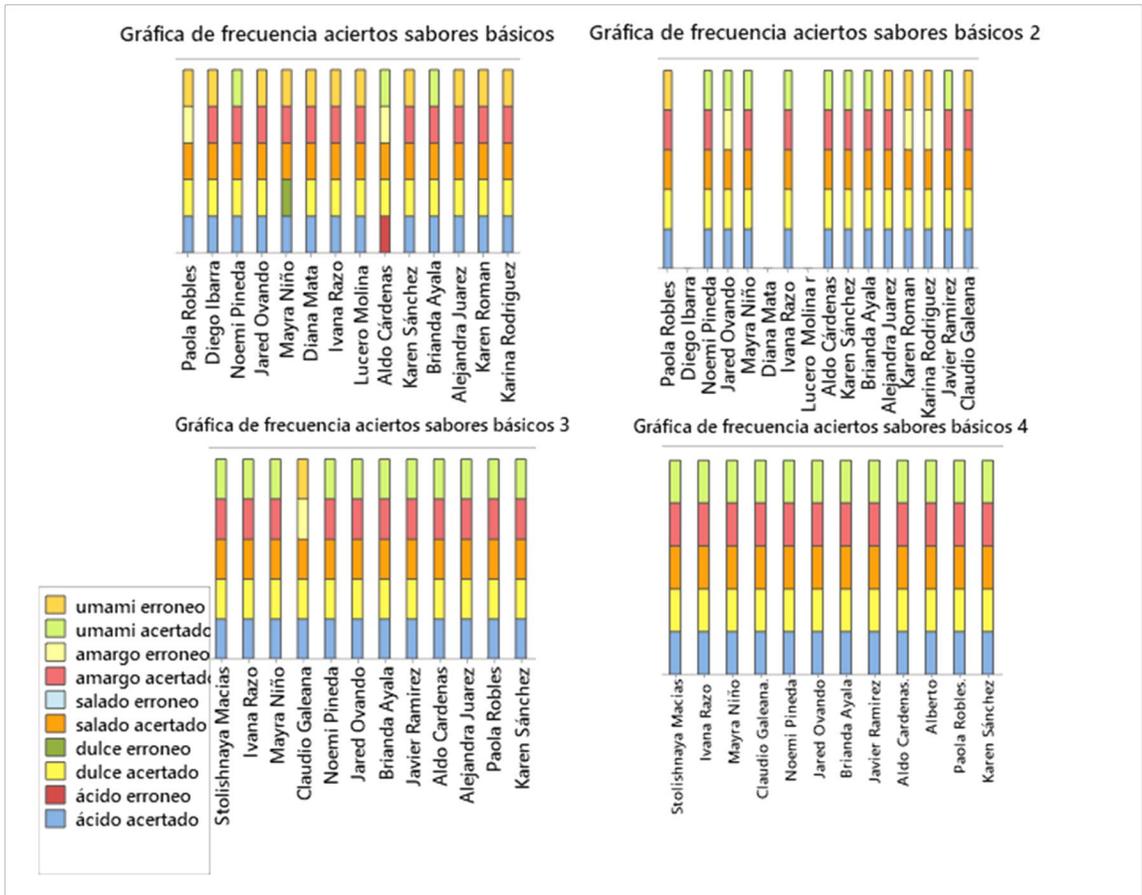
Firmeza
Bajo _____ Alta
Poco _____ Brillo _____ Mucho
Chico _____ Tamaño _____ Grande

Flavor

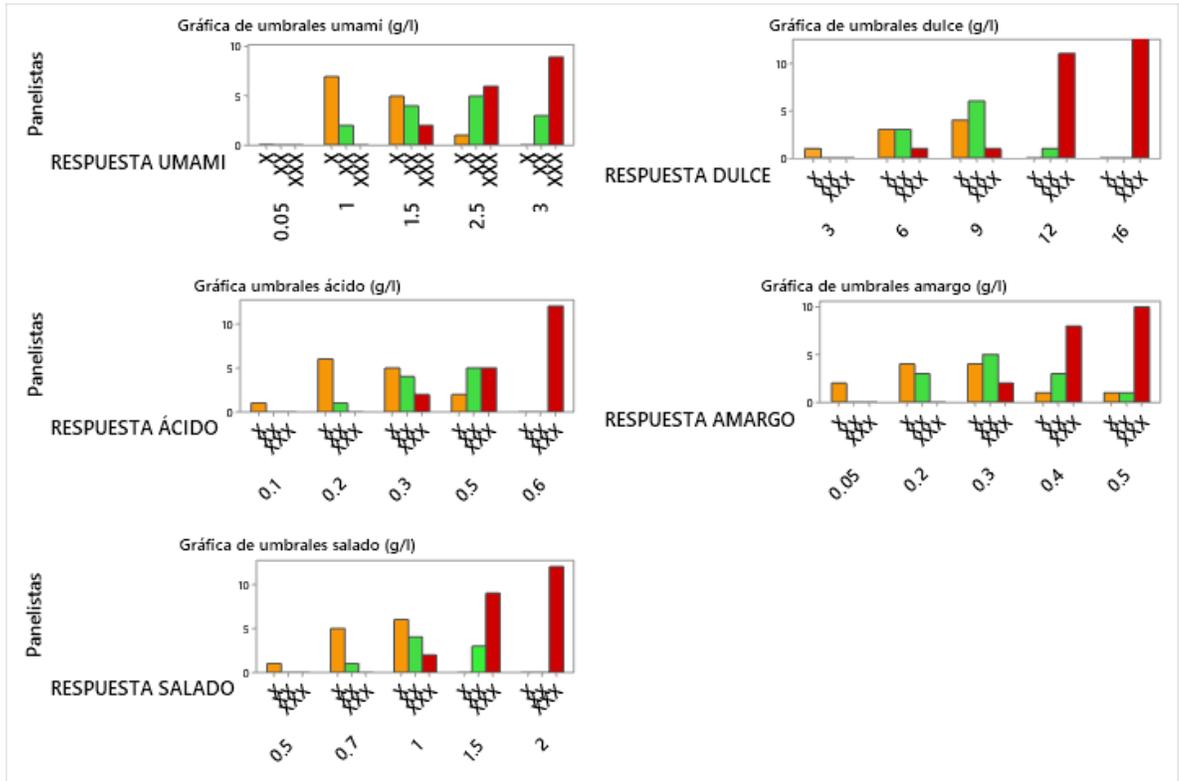
Poco _____ Verde/Inmaduro _____ Mucho
Poco _____ Astringente _____ Mucho
Poco _____ Floral _____ Mucho
Poco _____ Dulce _____ Mucho
Sí _____ Resabio _____ No

¿cuál?:.....

ANEXO 3: Pruebas de entrenamiento de sabores básicos- Panel QDA



ANEXO 4: Pruebas de umbrales- Panel QDA

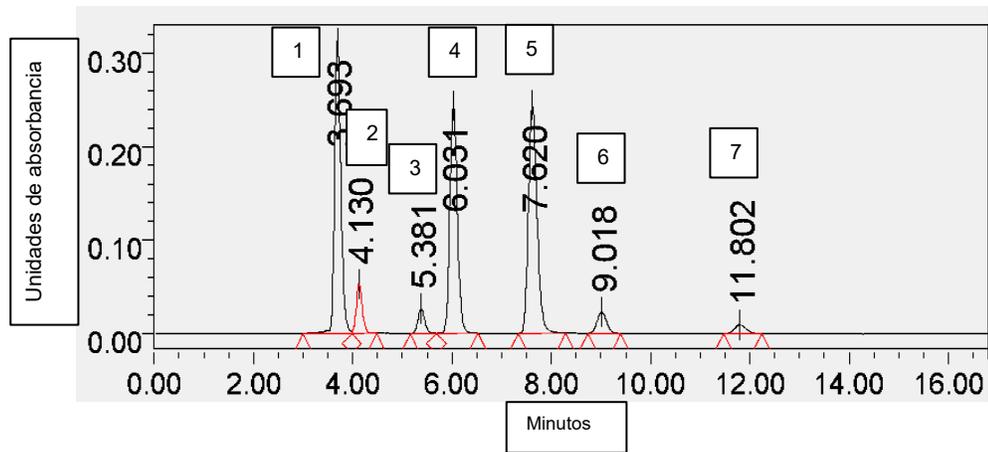


*Prueba de umbrales, naranja= detección sin identificar; verde= detección identificado y Rojo= aumento de concentración

Anexo 5: Receta solución nutritiva de cultivo de tomate en invernadero.

Solución madre			
Rendimiento: 1000 L		Dilución 100 a 1	
Fertilizante	Cantidad	Unidad	Para 2800 L de solución nutritiva.
Nitrato de Calcio haifa cal prime	90	kg	2.520 kg
Cloruro de calcio	9	kg	0.252 kg
Fe 13%	0.9	kg	0.025 kg
Kelselmix	2.83	kg	0.079 kg
New kel Zn	0.32	kg	0.009 kg
New kel Mn	0.17	kg	0.005 kg
Tradebor	0.3	kg	0.008 kg
Nitrato de potasio	16.2	kg	0.454 kg
Fosfato mono potásico	22.5	kg	0.630 kg
Cloruro de potasio	13.5	kg	0.378 kg
Ácido fosfórico	4.5	L	0.126 L
Sulfato de magnesio	49.5	kg	1.386 kg
Sulfato de potasio	18	kg	0.504 kg

Anexo 6: Estándares inyectados y reportados en literatura para muestras de tomate Receta solución nutritiva de cultivo de tomate en invernadero.



*: Mezcla de ácidos orgánicos leídos a 211nm; con un orden de izquierda a derecha de: 1=ácido oxálico, 2=ácido malónico 3=ácido ascórbico, 4=ácido maleico, 5=ácido cítrico, 6=ácido succínico y 7=ácido fumárico.