

**SELECCIÓN DE TOMATES TIPO CEREZA SILVESTRES PROMISORIOS PARA  
CULTIVO COMERCIAL UTILIZANDO PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y  
CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES**

JESSIKA GONZÁLEZ CARVAJAL



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD

PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA

MANIZALES- CALDAS

2020

**SELECCIÓN DE TOMATES TIPO CEREZA SILVESTRES PROMISORIOS PARA  
CULTIVO COMERCIAL UTILIZANDO PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y  
CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES**

JESSIKA GONZÁLEZ CARVAJAL

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Bacterióloga

Director:

EDUARDO JAVID CORPAS IGUARÁN

Co-director:

LINA MARÍA LONDOÑO GIRALDO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD

PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA

MANIZALES- CALDAS

2020

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma de Director del Trabajo de Grado**

---

**Firma del presidente del Comité de Programa**

---

**Firma de integrante del Comité de Programa**

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, dedico este trabajo a Dios, a mis padres y hermano por ser las personas que me impulsan a lograr mis objetivos, por su apoyo incondicional, sacrificios y amor; por sus enseñanzas desde niña y la perseverancia para que hoy en día pueda ser una gran profesional, pero ante todo una persona con valores.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Instituciones**

Agradezco a la Universidad Católica de Manizales y a la Universidad de Caldas. Por el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

- Instituto de Investigación en Microbiología y Biotecnología Agroindustrial, por la oportunidad de vinculación a uno de sus trabajos.
- Grupo de Investigaciones GIMIBAG, por el apoyo permanente.
- Universidad de Caldas sede central, por su apoyo en cuanto al jardín botánico en el cultivo de las muestras y equipos e infraestructura durante la parte experimental del trabajo.

### **Docentes e investigadores**

- Dr. Eduardo Javid Corpas Iguarán, como tutor de trabajo de grado, por la oportunidad de pertenecer a este trabajo, por su disponibilidad de tiempo y enseñanzas.
- Lina María Londoño Giraldo, como estudiante de doctorado en ciencias agropecuarias, por su disponibilidad de tiempo, enseñanzas, paciencia, compromiso y ante todo por la oportunidad de vincularme a uno de los objetivos de su trabajo de grado.
- Andrés Baena Pedroza, por sus enseñanzas.
- Profesora Olga Lucia Tovar, por su motivación a pertenecer a un semillero de investigación.

## **IMPACTOS ALCANZADOS**

- Artículo publicado en la revista Bragantia (Q1) del trabajo titulado "Selection of Promissory Crops of Wilk Cherry-Type Tomatoes using Physicochemical Parameters and Antioxidant Contents" (Anexo 1).
- Certificado de asistencia al IX ENCUENTRO DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN, VIII Encuentro Nacional de experiencias significativas en investigación formativa, IV Encuentro de estudiantes de movilidad del programa Delfín. Realizado por la Red Regional de Semilleros de Investigación RREDSI, en la ciudad de Tuluá-Valle el día 17 y 18 de octubre del 2019 (Anexo 2).
- Certificado de asistencia al IV Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación Red de Universidades Católicas de Colombia. Realizado por la Universidad Católica de Manizales el día 12 de septiembre del 2019 (Anexo 3).
- Certificado de asistencia al XI Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación RREDSI Nodo Caldas. Realizado por la Red Regional de Semilleros de Investigación RREDSI Nodo Caldas. En la ciudad de Manizales-Caldas el día 20 de mayo del 2019 (Anexo 4).

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
2.1. Objetivos generales	13
2.2. Objetivos específicos	13
<b>3. REFERENTE TEÓRICO</b>	<b>14</b>
3.1. ALIMENTOS FUNCIONALES	14
3.2. TOMATE TIPO CEREZA	14
3.2.1. Calidad del fruto de tomate tipo cereza	15
3.2.1.1. Solidos solubles	16
3.2.1.2. pH	17
3.2.1.3. Acidez	17
3.2.1.4. Color	17
3.2.1.5. Sabor	18
3.2.2. Antioxidantes	18
3.2.3. Carotenoides	19
3.2.3.1. Licopeno	20
3.2.3.2. $\beta$ -caroteno	21
3.2.4. Vitamina C	21
3.3. CÁNCER	22
3.3.1. Efecto Warburg	23
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>28</b>
4.1. MATERIAL VEGETAL	28
4.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	28
4.3. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	29
4.4. EXTRACCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE ANTIOXIDANTES	29
4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	29
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>31</b>
5.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	31
5.2. CONCENTRACIÓN DE ANTIOXIDANTES	34
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>38</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>40</b>
<b>8. REFERENTE BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>41</b>
<b>9. ANEXOS</b>	<b>49</b>

## LISTA DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b>	Grados de coloración en la madurez del tomate.	<b>17</b>
<b>Tabla 2.</b>	Análisis de antioxidantes y parámetros fisicoquímicos en diferentes cultivares y muestras de tomate.	<b>24</b>
<b>Tabla 3.</b>	Introducciones de tomate tipo cereza analizadas.	<b>28</b>
<b>Tabla 4.</b>	Análisis de decisiones multicriterio usando el método PROMETHEE para la selección de una introducción de tomate tipo cereza.	<b>37</b>



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Estructura química de los carotenoides presentes en el tomate.	<b>19</b>
<b>Figura 2.</b> Mecanismos por los cuales el licopeno puede modular la actividad celular.	<b>20</b>
<b>Figura 3.</b> Distribución de la mortalidad por cáncer según el sexo, Colombia, 2007- 2013.	<b>23</b>
<b>Figura 4.</b> Frutos de tomate tipo cereza recolectados para su posterior análisis.	<b>28</b>
<b>Figura 5.</b> Parámetros fisicoquímicos. A: sólidos solubles, B: pH, C: ácido ascórbico. D: acidez.	<b>32</b>
<b>Figura 6.</b> Coordenadas de color. E: valor L, F: valor a, G: valor b.	<b>33</b>
<b>Figura 7.</b> Contenido de antioxidantes. H: licopeno, I: $\beta$ -caroteno.	<b>35</b>
<b>Figura 8.</b> <b>A.</b> Análisis de componentes principales de la interacción de las variables fisicoquímicas estudiadas y las accesiones de tomate cereza silvestres <b>B.</b> Mapa de calor de las concentraciones fisicoquímicas en 11 accesiones de tomate tipo cereza.	<b>36</b>

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Artículo publicado en la revista Bragantia (Q1) del trabajo titulado "Selection of Promissory Crops of Wilk Cherry-Type Tomatoes using Physicochemical Parameters and Antioxidant Contents".	<b>49</b>
<b>Anexo 2.</b> Certificado de asistencia al IX ENCUENTRO DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN, VIII Encuentro Nacional de experiencias significativas en investigación formativa, IV Encuentro de estudiantes de movilidad del programa Delfín. Realizado por la Red Regional de Semilleros de Investigación RREDSI, en la ciudad de Tuluá-Valle el día 17 y 18 de octubre del 2019.	<b>50</b>
<b>Anexo 3.</b> Certificado de asistencia al IV Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación Red de Universidades Católicas de Colombia. Realizado por la Universidad Católica de Manizales el día 12 de septiembre del 2019.	<b>51</b>
<b>Anexo 4.</b> Certificado de asistencia al XI Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación RREDSI Nodo Caldas. Realizado por la Red Regional de Semilleros de Investigación RREDSI Nodo Caldas. En la ciudad de Manizales-Caldas el día 20 de mayo del 2019.	<b>52</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El tomate tipo cereza (*Solanum* spp.), representa uno de los frutos más apetecidos a nivel mundial, por sus propiedades y atributos fisicoquímicos; en especial por su alto contenido de antioxidantes. Los principales carotenoides provenientes del tomate tipo cereza son fitoeno, fitoflueno, luteína,  $\beta$ -caroteno y licopeno (Coyago-Cruz et al., 2018), los cuales son tetra terpenos. Los dos últimos, actúan como antioxidantes naturales lipofílicos ampliamente conocidos por su actividad en la prevención del cáncer, afecciones del corazón y a nivel del sistema inmunológico (Monteiro, Obdulio, Balbi, Teixeira Padilha Da Silva Penteado, & Haracemiv Chaves, 2009). Esta hortaliza ha sido clasificada como la principal fuente de licopeno (71,6%) para el ser humano y la segunda fuente de vitamina C (12,0%) (Tian, Wang, Hong, & Wang, 2016). Las concentraciones de licopeno oscilan de 8 – 40 mg de licopeno/kg peso fresco (Giudice et al., 2016) y es el principal responsable del pigmento rojo del tomate (Ayala-Zavala et al., 2008). Además, el licopeno es un potente secuestrador del oxígeno singlete (un reactivo en forma de oxígeno que es el peor radical libre causante de cáncer), siendo el doble de potente que el  $\beta$ -caroteno para neutralizar su acción (Monteiro et al., 2009). El licopeno ha sido asociado con la prevención de enfermedad cardiovascular (Mordente, Guantario, 2011) y diferentes tipos de cáncer, como el de mama, colon, y próstata (Tian et al., 2016). Asimismo, el  $\beta$ -caroteno es el más potente precursor de la vitamina A (Lucini, Pellizzoni, Baffi, & Molinari, 2012). Estos antioxidantes se encuentran enmarcados dentro de lo que puede denominarse propiedades intrínsecas del tomate, que junto con parámetros fisicoquímicos como acidez, pH, sólidos solubles (SS), azúcares y otros, además de condiciones de cultivo como el riego (cantidad de agua proporcionada) y el almacenamiento del fruto (Coyago-Cruz et al., 2018), han fortalecido el concepto de calidad del tomate más allá de sus características externas (peso, forma, color, tamaño). Este conjunto de características debe ser reconsideradas para entregar al consumidor un fruto con las óptimas propiedades nutraceuticas, apetecibles y funcionales.

El tomate tipo cereza presenta concentraciones de licopeno mayores que otros cultivares de tomate como el tipo chonto (Ceballos-Aguirre, 2012) y este es el motivo por lo que este tipo de tomate ha generado un gran interés, así mismo los genotipos silvestres no solo conservan esta característica, sino que también tienen mayor contenido de azúcares y sólidos solubles en estado máximo de maduración (Aldrich et al., 2010), condición que lo hace más dulce y apetitoso, intensificando el particular sabor y aroma de esta fruta. Lo anterior ha desencadenado una cantidad de estudios relacionados a métodos de extracción, separación y cuantificación en esta matriz. Para el análisis de estos carotenoides se han implementado diversas técnicas de separación y cuantificación que incluyen principalmente cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Raffo et al., 2002; Monteiro et al., 2009; Lucini et al., 2012; García-Valverde, Navarro-González, García-Alonso, & Periago., 2013; Nour, Trandafir, & Ionica., 2013; Martins & Rosso., 2014; Daoud et al., 2014; Cortés-Olmos, Leiva-Brondo, Roselló, Raigón, & Cebolla-Cornejo., 2014; Cefali et al., 2015; Bhandari & Lee., 2016; Irakli, Chatzopoulou, Kadoglidou, & Tsivelika., 2016; Zanfini, Franchi, Massarelli, Corbini, & Dreassi., 2017; Coyago-cruz et al., 2017; Schweiggert et al., 2017;

Maria Teresa Melfi, Donatella Nardiello, Nunzia Cicco, Vincenzo Candido., 2018; Coyago-Cruz et al., 2018 ) y espectrofotometría (absorbancia) (Ayala-Zavala et al., 2008; Ceballos-Aguirre & Vallejo Cabrera., 2012; Kavitha et al., 2014; Ilahy, Siddiqui, Piro, Lenucci, & Hdider., 2016; Giudice et al., 2016; J. silva Porto et al., 2016) (Tabla 2), la primera con ventajas en la exactitud y reproducibilidad del método, la segunda metodología considerada como simple y rápida para la evaluación de antioxidantes y la correlación con otros parámetros de calidad intrínsecos. En cuanto a las técnicas de extracción varios autores han implementado extracciones líquido - líquido utilizando solventes como acetona y hexano (Ceballos-Aguirre & Vallejo Cabrera., 2012; Kavitha et al., 2014; Nour et al., 2013; Poojary & Passamonti., 2015; Giudice et al., 2016), extracción con líquidos iónicos (Martins & Rosso, 2014), extracción asistida por microondas (Ho, Ferruzzi, Liceaga, & Martín-González, 2015), ultrasonido (Kumcuoglu, Yilmaz, & Tavman, 2014), entre otras (algunos estudios relacionados a este tema se visualizan en la Tabla 2). La elección de la técnica de extracción de carotenoides o el solvente a utilizar es el punto más crítico para una obtención eficaz y principalmente depende de la composición del carotenoide; es decir, si es polar o apolar. Generalmente la acetona y el hexano se utilizan para la extracción de antioxidantes polares y no polares respectivamente. Sin embargo, existen otro tipo de extracciones más limpias, que ofrecen la ventaja al no utilizar disolventes tóxicos, sobre las convencionales. Entre estas se encuentran la extracción asistida por microondas (MAE), extracción asistida por ultrasonido (EAU), extracción acelerada de solventes (ASE), extracción asistida de campo eléctrico pulsado (PEF) y de campo eléctrico moderado (MEF), extracción de fluidos supercríticos, extracción asistida por enzimas (EAE) y extracción de carotenoides utilizando disolventes verdes (Saini & Keum, 2018).

Con el fin de contribuir al fortalecimiento de cadenas productivas locales, el objetivo del presente trabajo fue analizar las diferencias en la concentración y la variación de diversos parámetros fisicoquímicos de calidad y de los antioxidantes  $\beta$ -caroteno y licopeno en 11 accesiones de tomate tipo cereza silvestre, lo anterior ligado a seleccionar material promisorio para comercialización basados en requerimientos nutricionales para ser considerado además como un alimento funcional.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Proponer una accesión de tomate tipo cereza como alimento funcional, según análisis multicriterio.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Establecer la concentración de diversos parámetros fisicoquímicos de calidad y de los antioxidantes  $\beta$ -caroteno y licopeno en 11 accesiones de tomate tipo cereza silvestre.
- Comparar 11 accesiones de tomate tipo cereza, en cuanto a cinco parámetros fisicoquímicos y contenido de antioxidantes.

### **3. REFERENTE TEÓRICO**

#### **3.1. ALIMENTOS FUNCIONALES.**

Los alimentos funcionales contienen ingredientes biológicamente activos asociados con beneficios para la salud, que contribuyen a prevenir y controlar enfermedades crónicas (Alkhatib et al., 2017). Mejorando condiciones generales del cuerpo.

En la actualidad, los consumidores son cada vez más conscientes de la importancia de la dieta en la salud humana y eligen productos alimenticios funcionales. Puesto que la dieta diaria tiene un impacto no solo en la nutrición sino también en el funcionamiento correcto del organismo. Por ello se ha realizado diferentes caracterizaciones de productos alimenticios y se han elaborado otros. Los cuales tienen una función más allá, del suministro de energía, minerales y vitaminas al cuerpo. Generalmente los alimentos funcionales son ampliamente definidos como suplementos dietéticos, los cuales contribuyen a mejorar la respuesta fisiológica del cuerpo ante una enfermedad o reducen el riesgo de padecerla. Gran parte de los alimentos funcionales son nutraceuticos, lo cual se refiere a que estos alimentos tienen propiedades medicinales establecidas (Farang et al., 2020).

No obstante, la pobre absorción de los alimentos funcionales limita sus beneficios para la salud. La baja absorción de dichos alimentos se debe principalmente a su baja solubilidad en agua y poca estabilidad en el tracto digestivo humano. Los alimentos ingeridos por vía oral son absorbidos por las células epiteliales entéricas. Sin embargo, dada su baja solubilidad en agua, el pH ácido del estómago y las enzimas digestivas, pueden degradar los alimentos funcionales; llevando así a la disminución de la biodisponibilidad de dicho alimento. Por ello se ha propuesto últimamente el recubrimiento, basado en tabletas, capsulas, recubrimiento sintético o natural para evitar la degradación del alimento en el estómago. Con la característica que los recubrimientos son solubles en pH alcalino (Xiong et al., 2020). Este es un tema que hoy en día se encuentra en investigación continua.

#### **3.2. TOMATE TIPO CEREZA**

El tomate tipo cereza (*Lycopersicon esculentum* L.) se considera una fruta saludable en todo el mundo debido a su amplia gama de nutrientes. Uno de ellos es el flavonol, el cual posee propiedades antioxidantes y de modulación celular (Wang et al., 2018). El tomate es uno de los principales componentes de la dieta mediterránea. Además, se puede consumir fresco o procesado en salsas o guisos. Algunos compuestos que promueven la salud están presentes en los tomates, estos son los carotenoides, como el licopeno, el  $\beta$ -caroteno y los carotenoides incoloros fitoeno y fitoflueno; compuestos fenólicos, vitamina C, vitamina E, ácidos grasos monoinsaturados (ácido oleico) y tocoferoles. También contienen fibra, minerales y azúcares como fructosa y glucosa (Coyago-cruz et al., 2017).

Además, los compuestos fenólicos y los flavonoides (quercetina, kaempferol y naringenina) son los principales contribuyentes a la actividad antioxidante total de los tomates. Estos

fitoquímicos muestran una amplia gama de propiedades promotoras de la salud, como antiinflamatorios, antimicrobianos, cardioprotectores, hepatoprotectores, hipoglucemiantes, y efectos antivirales (Bhandari, Cho, & Lee, 2016).

Las introducciones de tomate tipo cereza se caracterizan por su tamaño pequeño y son cada vez más demandados, puesto que presentan mayores niveles de productividad que las variedades comunes. Además, es común que los niveles de compuestos nutricionales y funcionales sean más elevados en el tomate tipo cereza con respecto a variedades comunes (Coyago-cruz et al., 2017).

El contenido de azúcares y ácidos orgánicos de las frutas de tomate depende en gran medida de la etapa de desarrollo y la madurez. Durante la maduración, la cantidad total de azúcares aumenta a aproximadamente un 4%, predominando la glucosa en las frutas verdes e inmaduras, mientras que las frutas rojas maduras contienen típicamente un poco más de fructosa que la glucosa. El ácido orgánico dominante es el ácido cítrico, pero los tomates verdes pueden contener ácido málico en concentraciones más elevadas que en el fruto maduro (Agius, Tucher, Poppenberger, & Rozhon, 2018).

La calidad funcional y la composición de los compuestos beneficiosos presentes en los tomates están significativamente influenciadas por factores genéticos y ambientales. Estos incluyen el genotipo, etapa de maduración, condiciones del suelo y clima; condiciones ambientales, como luz, temperatura, temporada de crecimiento, prácticas agrícolas y condiciones postcosecha (Bhandari et al., 2016).

Por otro lado, los tomates al ser frutas climatéricas pueden madurar fuera de la planta y es una práctica comercial común cosechar frutas maduras en etapa verde o de corte (color rojo incipiente) y madurarlas en tránsito o destino. Sin embargo, se demostró que las frutas maduradas fuera de la planta contienen menos azúcares, pero niveles similares de ácidos orgánicos en comparación con las frutas maduradas adheridas a la planta madre, diferencia que puede afectar negativamente el sabor y posterior a ello la compra del consumidor (Agius et al., 2018).

**3.2.1. Calidad del fruto de tomate tipo cereza.** El tomate es uno de los cultivos más importantes en todo el mundo, pero también uno de los más perecederos. En países en vía de desarrollo, las pérdidas en frutas y hortalizas durante la postcosecha esta entre un 20% y 50%. Las modificaciones en la calidad de los tomates pueden ser de naturaleza mecánica, fisiológica o patológica (Casierra-Posada & Aguilar-Avenidaño, 2014). La calidad del fruto de tomate es un aspecto importante en la agricultura y comercio, el cual depende de diversos factores como genéticos, ambientales (condiciones climáticas y de riego), el manejo del cultivo, sistema de producción, nutrición o fertilización, entre otros. Si estos factores son adversos para el cultivo, se conduce a bajos niveles de productividad y deterioro en la calidad de los frutos (González Userralde, Casanova Morales, Rodríguez Hernández, Salgado Pulido, & Miranda Cabrera, 2017).

El tomate se caracteriza por ser un fruto perocedero, como consecuencia de su elevada producción interna de etileno. El etileno es una hormona vegetal responsable de cambios fisiológicos en los frutos después de la cosecha. En particular, el etileno afecta la maduración del tejido de la fruta y la coloración amarillenta de las hojas, incluida la senescencia de las plantas (Chan-young, Young-jun, & Youngjae, 2016). Además, en el proceso de maduración se intensifica la vitamina C y los sólidos solubles (azúcares). La madurez y el reblandecimiento son los dos principales atributos de perecibilidad de las frutas climatéricas. Que constituyen un importante atributo de compra para el consumidor (Agius et al., 2018).

Por otro lado, los daños mecánicos pueden causar alteraciones metabólicas y fisiológicas, dando una apariencia anormal externa e incluso interna y alteraciones en el metabolismo respiratorio, sabor y firmeza del tomate. Los daños físicos también pueden afectar significativamente la composición fisicoquímica del pericarpio en frutos de tomate. Lo cual conlleva a un fruto no apetecible por el consumidor y por consiguiente genera pérdidas para el agricultor. Este problema hoy en día está siendo solucionado gracias a diferentes variedades botánicas (Casierra-Posada & Aguilar-Avenidaño, 2014).

Los principales parámetros de calidad del tomate para comercializar y agradar al consumidor son peso seco, sólidos solubles, acidez, pH, y color. En cuanto a este último parámetro el tomate se consume cuando está completamente rojo, aprovechando al máximo su calidad organoléptica, pero sin estar sobremadurado. El color rojo es el resultado de la degradación de la clorofila, así como de la síntesis de cromoplastos; además, es el parámetro fisicoquímico más importante para los consumidores a la hora de comprar el fruto (Casierra-Posada & Aguilar-Avenidaño, 2014). Actualmente, la calidad organoléptica y nutricional de los productos frescos se está convirtiendo en un parámetro crucial para los productores de tomate por el aumento de interés de los consumidores por la comida sana y apetecible (Flores, Sánchez, Fenoll, & Hellín, 2016).

Durante la maduración de los frutos, las propiedades de la piel del tomate cambian, los frutos se ablandan; debido a la degradación de la clorofila y a la síntesis de licopeno, el color verde se torna a rojo; además, la producción de etileno aumenta la frecuencia respiratoria; síntesis de azúcares, ácidos, y se producen compuestos aromáticos (Anton et al., 2017).

Por otro lado, la vida post cosecha se define como el periodo en el cual un producto mantiene un nivel predeterminado de calidad bajo condiciones específicas de almacenamiento. Dentro del almacenamiento la calidad de las frutas se ven afectadas por una serie de procesos fisicoquímicos como la pérdida de agua a causa de la temperatura. El control de la temperatura, que debe ser idealmente baja reduce la respiración, transpiración, producción de etileno y maduración de los frutos; por lo cual, preserva la calidad del fruto (Casierra-Posada & Aguilar-Avenidaño, 2014).

**3.2.1.1. Sólidos solubles.** La composición de la fruta de tomate es aproximadamente 93% de agua y 7% de sólidos. Los sólidos totales son clasificados según su solubilidad en agua como soluble y sólidos insolubles. Aproximadamente la mitad de los sólidos totales son azúcares reductores, con un poco más de fructosa que glucosa. Los sólidos restantes consisten en ácidos orgánicos (cítrico y málico), aminoácidos, proteínas, lípidos, minerales, sustancias



pécticas, celulosa y hemicelulosa (Wilkerson et al., 2013). Las técnicas para evaluar sólidos solubles se describen en la NTC 4624.

**3.2.1.2. pH.** El pH del tomate está determinado por su alto contenido de ácido orgánico, siendo el ácido cítrico el más abundante. En general, se ha informado que el pH de los tomates rango de 3,9 a 4,9 o en cultivares estándar de 4,0 a 4,7. El pH juega un papel vital en la seguridad microbiológica y el deterioro de los alimentos a base de tomate. Sin embargo, los azúcares y los ácidos orgánicos son responsables de la dulzura y la acidez del tomate, y son los principales factores que afectan la aceptabilidad del sabor del fruto (Wilkerson et al., 2013). Las técnicas para evaluar pH se describen en la NTC 440 o NTC 4592.

**3.2.1.3. Acidez.** La acidez titulable es definida como el % de ácido cítrico determinado por valoración con NaOH 0,1 M (Xu et al., 2018). Las técnicas para evaluar la acidez titulable se describen en la NTC 4623 que se refiere a los productos de frutas y verduras en cuanto a la determinación de la acidez titulable. Los tomates tipo cereza presentan una acidez mayor con respecto a otras variedades, lo que intensifica su sabor en conjunto con los sólidos solubles. Dicha acidez está dada por la concentración de ácido cítrico y por el ácido ascórbico presente en la fruta.

**3.2.1.4. Color.** Es un índice de calidad importante que determina la madurez del tomate y la vida post cosecha. El color es el criterio de calidad más importante en la aceptabilidad del consumidor (Wilkerson et al., 2013). Los cambios de color o pigmentación durante la maduración del tomate se caracterizan por una disminución de la clorofila y una acumulación rápida de carotenoides, particularmente licopeno que es el pigmento predominante en tomate. Las mediciones instrumentales del color proporcionan una técnica objetiva, no destructiva y rápida que permite al analista obtener una serie de parámetros en unos segundos, y es una herramienta útil para control de calidad de los alimentos. La cromaticidad de la fruta puede ser evaluada en las coordenadas L\* (grado de luminosidad), a\* (grado de enrojecimiento o verdor) y b\* (grado de amarillez) (Fernández-Ruiz, José Torrecilla, Cámara, Mata, & Shoemaker, 2010). Según la NTC 1103-1:1995 hay 5 grados de color que indican la madurez del tomate.

**Tabla 1.** Grados de coloración en la madurez del tomate.

Fuente: NTC 1103-1:1995

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>
Verde	La superficie del tomate está completamente verde y el fruto ha alcanzado su tamaño máximo. El tono puede variar de claro a oscuro.
Coloración incipiente (1/4 pintón)	Cuando muestra un cambio definido de color, de verde a amarillo opaco, rosado o rojo claro, pero no más del 30% de la superficie.
Coloración media (medio pintón)	Cuando muestra entre 30 y 60% de la superficie un color rosado o rojo.

Coloración avanzada (3/4 pintón)	Cuando muestra más del 60% de la superficie un color rosado-rojizo o rojo, pero el fruto aún no está totalmente rojo.
Rojo	Cuando ha desarrollado un color rojo intenso en toda la superficie.

---

**3.2.1.5. Sabor.** El sabor a tomate se produce mediante una combinación de azúcar, ácidos, firmeza y volátiles. El sabor está determinado principalmente por el sólido soluble total y los ácidos totales; la sensación en la boca se basa en la firmeza y el aroma se basa en los volátiles (Xu et al., 2018).

**3.2.2. Antioxidantes.** Los antioxidantes son moléculas que inhiben o apagan las reacciones de los radicales libres y retrasan o inhiben el daño celular (Nimse & Pal, 2015). Es ampliamente conocido que los radicales libres y especies de oxígeno reactivo (ROS), generadas durante los procesos metabólicos normales del organismo, causan daño oxidativo a las células u órganos. Como resultado inducen muchas enfermedades crónicas, mutaciones, envejecimiento, cáncer, aterosclerosis y enfermedades cardiovasculares (Gong et al., 2020). Pero, el consumo de antioxidantes en la dieta se asocia con menores riesgos de padecer ciertas enfermedades graves. Estos antioxidantes dietéticos incluyen vitamina C, vitamina E,  $\beta$ -caroteno, licopeno, polifenoles y otros componentes bioactivos (Ghoora, Haldipur, & Srividya, 2020).

Existen dos tipos de antioxidantes; los antioxidantes naturales, como vitaminas, carotenoides, y polifenoles, los cuales se derivan de productos naturales y están siendo ampliamente estudiados; y los sintéticos, de los cuales los más utilizados en la actualidad son galato de propilo (PG), butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT) y terc-butilhidroquinona (TBHQ). Sin embargo, la mayoría de los antioxidantes sintéticos están restringidos para su uso debido a su peligro potencial para la salud humana, incluido daño hepático y la carcinogénesis (Gong et al., 2020).

Los antioxidantes se pueden clasificar de varias maneras. Según su actividad, pueden clasificarse como antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos. Dichos antioxidantes enzimáticos funcionan al descomponer y eliminar los radicales libres. Las enzimas antioxidantes convierten productos oxidativos peligrosos en peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y este a su vez en agua, en un proceso de múltiples pasos en presencia de cofactores tales como cobre, zinc, manganeso y hierro (Nimse & Pal, 2015). Superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), ascorbato peroxidasa (APX), glutatión reductasa (GR), monodehidroascorbato reductasa (MDHAR), y la deshidroascorbato reductasa (DHAR) se encuentran entre las enzimas antioxidantes más importantes (Ahmad, Ahanger, Alyemeni, Wijaya, & Alam, 2017). Por otro lado, los antioxidantes no enzimáticos actúan interrumpiendo las reacciones en cadena de los radicales libres. Algunos ejemplos son la vitamina C, la vitamina E, el polifenol vegetal, los carotenoides y el glutatión (Nimse & Pal, 2015).

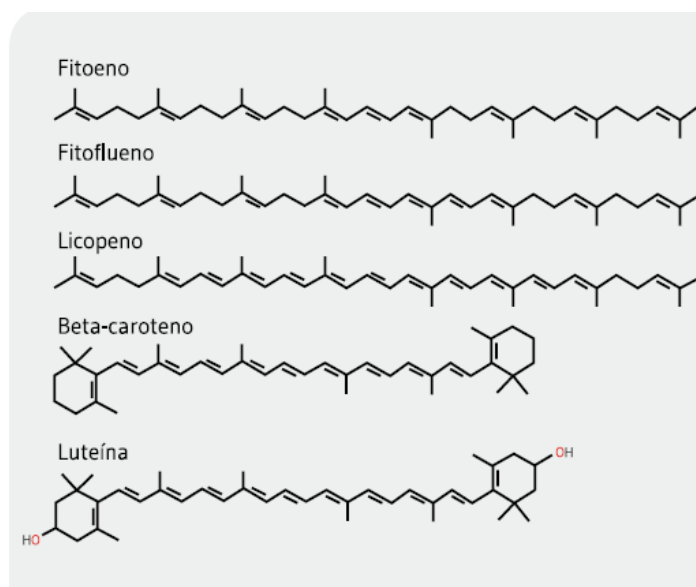
Otra manera de clasificar los antioxidantes es basada en la solubilidad en el agua o los lípidos. Los antioxidantes se pueden clasificar como antioxidantes solubles en agua y

solubles en lípidos. Los antioxidantes solubles en agua (vitamina C) están presentes en los fluidos celulares como el citosol o la matriz citoplasmática; y los antioxidantes liposolubles (Vitamina E, carotenoides y ácido lipoico) se encuentran predominantemente en las membranas celulares (Nimse & Pal, 2015).

**3.2.3. Carotenoides.** Los carotenoides son un grupo de pigmentos presentes naturalmente en los cromoplastos y cloroplastos de las plantas. Se dividen en dos clases: **xantofilas** las cuales contienen oxígeno, como la luteína y **carotenos**, que son puramente hidrocarburos y sin oxígeno; como el  $\beta$ -caroteno y el licopeno (Tilahun et al., 2018). También se dividen en carotenoides con actividad provitamina A ( $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno y  $\beta$ -criptoxantina) y compuestos no provitamínicos A (licopeno) (Milani, Basirnejad, Shahbazi, & Bolhassani, 2017).

Los carotenoides tienen la función de absorber la energía de la luz para su uso en la fotosíntesis, y proteger las clorofilas y otros elementos de la fotosíntesis. La pigmentación característica de la fruta de tomate es el resultado de síntesis de carotenoides, que está asociada con el cambio en la fruta de color verde a rojo a medida que los cloroplastos se transforman en cromoplastos. Los carotenoides tienen capacidad para apagar el oxígeno singlete, así como las clorofilas triples a través de un mecanismo físico que involucra transferencia de energía de excitación seguida de desactivación térmica y además, modulan el sistema inmune (Tilahun et al., 2018).

Dentro de estos, el fitoeno y el fitoflueno son precursores del licopeno (Figura 1), por lo tanto, su concentración en el tomate es menor que la de licopeno o el  $\beta$ -caroteno (Navarro-González & Periago, 2016a). Por otro lado, los humanos y los animales no tienen la capacidad de sintetizar carotenoides, por lo cual deben de obtenerlos a través de la dieta (Tilahun et al., 2018).



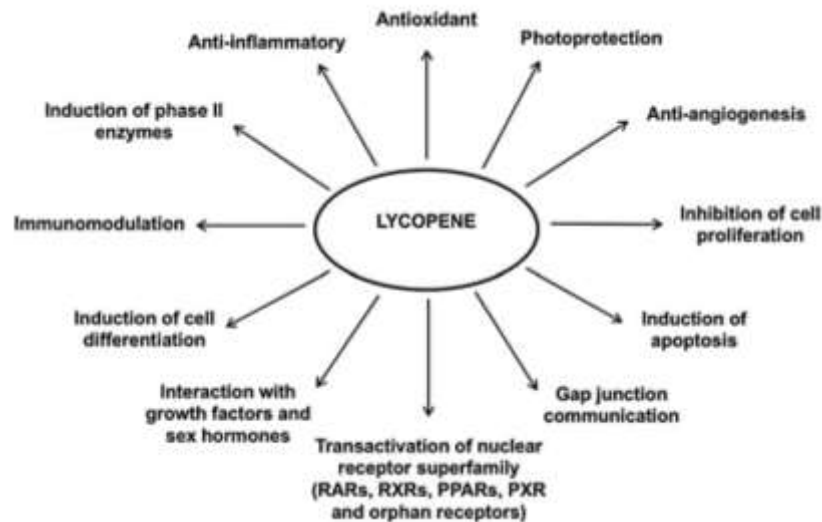
**Figura 1.** Estructura química de los carotenoides presentes en el tomate.  
Fuente: (Navarro-González & Periago, 2016a)

**3.2.3.1. Licopeno.** El licopeno es un carotenoide lipofílico, responsable del color rojo en diversas frutas y verduras como tomate, sandía, guayaba, pomelo, entre otras. Conocido ampliamente por su capacidad antioxidante. En los humanos, este antioxidante es principalmente almacenado en el tejido adiposo, donde representa más de la mitad de la concentración total de carotenoides (Fenni et al., 2017).

El licopeno es el principal carotenoide en el tomate y productos de tomate. Además, el licopeno no tiene actividad provitamina A y los efectos biológicos del licopeno sobre el organismo humano se atribuyen principalmente, a la prevención del daño oxidativo de moléculas como el ADN, lípidos y lipoproteínas; y a la inducción de la comunicación intercelular y el control del crecimiento. Por lo tanto, ha sido postulado que puede proteger contra varios tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Navarro-González & Periago, 2016a). También muestra efectos inhibidores del crecimiento en varias células cancerosas humanas (Maoka et al., 2015).

El licopeno tiene una estructura formada por carbono e hidrógeno, su fórmula molecular es  $C_{40}H_{56}$ . Es liposoluble y tiene 11 enlaces conjugados y dos dobles enlaces no conjugados (Figura 1). Este carotenoide tiene la habilidad para neutralizar especies reactivas de oxígeno, especialmente el oxígeno singlete, inhibiendo así los efectos del estrés oxidativo en la epidermis causada por los rayos ultravioleta (UV) (Cefali et al., 2015).

Mediante estudios *in vitro*, se ha sugerido que los posibles mecanismos biológicos por los que los carotenoides pueden proteger contra enfermedades del corazón y cáncer incluyen: reducción de colesterol, inhibición de procesos de oxidación, modulación de marcadores inflamatorios, comunicación intercelular mejorada, inhibición de la tumorigénesis e inducción de apoptosis, metabolismo a retinoides y efectos antiangiogénicos (Figura 2) (Thies, Mills, Moir, & Masson, 2016).



**Figura 2.** Mecanismos por los cuales el licopeno puede modular la actividad celular.  
Fuente: (Thies et al., 2016)

**3.2.3.2.  $\beta$ -caroteno.** El  $\beta$ -caroteno es el carotenoide más frecuente en la dieta humana. Se clasifica como un carotenoide provitamina A, dado que es una fuente de retinol, de la cual los mamíferos producen dos tercios de su vitamina A (Ribeiro et al., 2020).

La vitamina A es una vitamina liposoluble y principalmente almacenada en el hígado, esencial para la visión, especialmente en la adaptación a la oscuridad, la inmunidad, el crecimiento óseo. y reproducción; además, ayuda a mantener la superficie de la córnea y la esclera, la integridad epitelial de las vías respiratorias, urinarias y tracto gastrointestinal. También se dice que la vitamina A, tiene un papel en la expresión génica. La deficiencia de esta vitamina resulta en problemas en los ojos, la visión, diferenciación celular y la funcionalidad del sistema inmune humoral y celular (Awasthi & Awasthi, 2020). Se ha determinado que seis moléculas de beta-caroteno son necesarias para producir una molécula de retinol (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002). En este contexto, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomiendan el consumo de 750  $\mu$ g de retinol por día para los adultos.

Otros beneficios del  $\beta$ -caroteno, radican en que es altamente activo y posee una elevada actividad antioxidante en el cuerpo humano, desempeña un papel inmunológico importante y reduce los efectos del envejecimiento (Monteiro et al., 2009). El  $\beta$ -caroteno también es ampliamente conocido por su función fisiológica como un eficaz antioxidante que rompe cadenas de radicales libres (Ribeiro et al., 2020). Sin embargo, el licopeno es dos veces más potente que el  $\beta$  - caroteno para neutralizar la acción del oxígeno singlete (Monteiro et al., 2009).

Por otro lado, el licopeno y el  $\beta$ -caroteno son los principales carotenoides en el tomate y se encuentran principalmente en la etapa roja de la maduración de la fruta. La degradación de la clorofila y la formación de cromoplastos es el resultado de la deposición de licopeno y  $\beta$ -caroteno que es acelerada por el etileno (Mubarok et al., 2019)

**3.2.4. Vitamina C.** Las vitaminas son sustancias orgánicas presentes en cantidades muy pequeñas en los alimentos, pero necesarias para el metabolismo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002). La vitamina C o ácido ascórbico, es un antioxidante soluble en agua, capaz de eliminar libremente radicales y participa en el reciclaje de otra vitamina y antioxidante (vitamina E). La vitamina C tiene un papel distintivo como cofactor de enzimas involucradas en hidroxilación de prolina y lisina, y se requiere para la síntesis de colágeno y la construcción de matriz ósea (Harsij, Kanani, & Adineh, 2020).

El ácido ascórbico es un nutriente esencial y necesario para la formación y mantenimiento saludable del material intercelular como el colágeno, su carencia conlleva al escorbuto. En el escorbuto, las paredes de los vasos sanguíneos y los capilares carecen de solides y se

vuelven frágiles, sangran y se presentan hemorragias en diversos sitios (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002).

Respecto a otras funciones biológicas atribuidas a la vitamina C, se ha visto que puede desempeñar un papel clave en el retraso de la patogénesis de una gran variedad de enfermedades degenerativas, tales como enfermedades cardiovasculares, ciertos tipos de cáncer, cataratas, enfermedades neurodegenerativas, asma, mejora la función inmune y también evitar la mutación del ADN inducida por el estrés oxidativo (Navarro-González & Periago, 2016b). En cuanto, a la protección del ADN de los daños inducidos por especies oxidantes y en la prevención de la inflamación; protege contra la oxidación de LDL (lipoproteína de baja densidad) por diferentes tipos de estrés oxidativo (Sacco, Raiola, Calafiore, Barone, & Rigano, 2019)

Además, la vitamina C es importante para mejorar la absorción del hierro no-hemínico en alimentos de origen vegetal, disminuyendo el riesgo de anemia por carencia de este. Por otro lado, el calor destruye con facilidad la vitamina C; por ello, la cocción prolongada de cualquier alimento puede destruir gran cantidad de la vitamina C que contenga (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002).

El contenido de vitamina C en diferentes cultivos de tomate varía en función de múltiples factores como cambios estacionales, intensidad, duración y calidad de la luz, y según la introducción, pero independientemente de la influencia de estos factores, los tomates son una buena fuente de vitamina C (Navarro-González & Periago, 2016b). La evidencia de estudios bioquímicos, clínicos y epidemiológicos ha sugerido una ingesta dietética de 90-100 mg / día de ácido ascórbico para la reducción óptima de los riesgos de enfermedades crónicas (Ghoora et al., 2020).

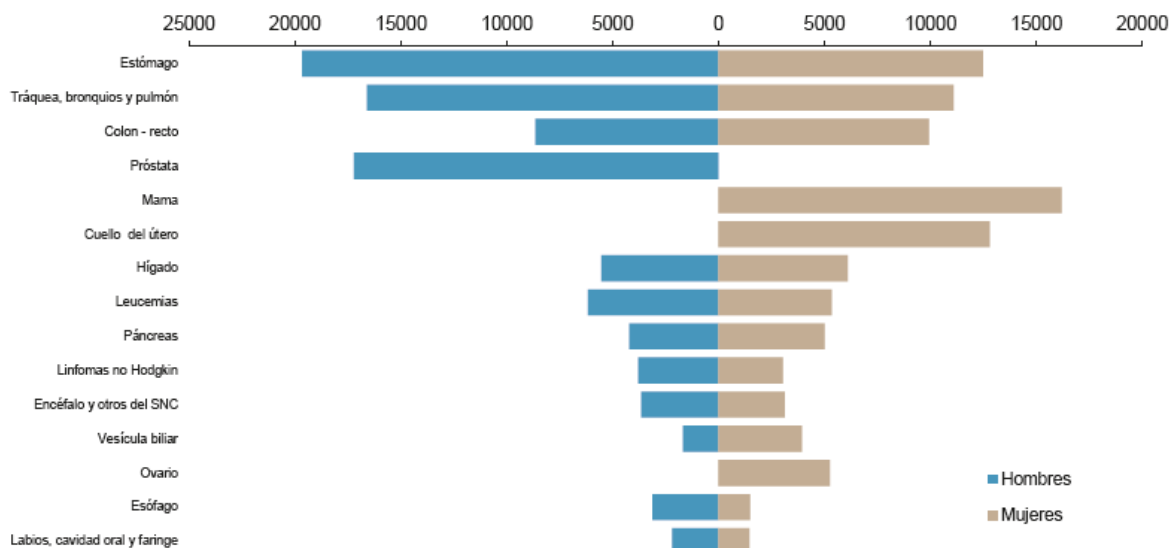
### **3.3. CÁNCER**

El cáncer es una enfermedad metabólica, una fermentación causada por el mal funcionamiento de las mitocondrias, resultando en el incremento del anabolismo y disminución del catabolismo (Schwartz, Seyfried, Alfarouk, Moreira, & Fais, 2017).

El cáncer fue la segunda causa de muerte durante el periodo 2007-2013 en Colombia. Con aproximadamente 33.538 muertes anuales, representó el 17,1% de la mortalidad del país. La tasa de mortalidad ajustada por edad para cáncer en todas las localizaciones fue 78,3 por 100.000 hombres y 73,8 por 100.000 mujeres. Los departamentos con el mayor número de muertes registradas fueron Bogotá D.C., Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca y Santander (Pardo, Vries, Buitrago, & Gamboa, 2017).

Las diez localizaciones anatómicas representaron el 67,7% del total de muertes por cáncer para ambos sexos. En los hombres las cinco principales localizaciones (estómago, próstata, pulmón, colon, recto y ano, y leucemias) representaron el 59% del total de muertes por cáncer y en las mujeres las localizaciones (mama, cuello de útero, estómago, pulmón, y colon, recto

y ano) representaron el 52,5%. Lo cual se evidencia de manera clara en la figura 3. (Pardo et al., (2017) y Valencia et al., (2019)).



**Figura 3.** Distribución de la mortalidad por cáncer según el sexo, Colombia, 2007- 2013. Fuente: (Pardo et al., 2017)

**3.3.1. Efecto Warburg.** En 1920 Otto Warburg demostró una característica específica de las células cancerígenas, que consiste en una mayor absorción de glucosa y secreción de ácido láctico, incluso en presencia del oxígeno (Valencia et al., 2019). En las células cancerígenas se evidencia una disminución del trabajo de las mitocondrias y esto hace que a pesar del aumento en la absorción de glucosa el nivel de ATP producido disminuya, hasta en un 50%. Lo cual se da como una consecuencia del deterioro de la fosforilación oxidativa. La célula al tener poca energía absorbe mayores cantidades de glucosa, pero dado que las mitocondrias son ineficaces no se suple la necesidad de ATP (Schwartz et al., 2017).

Dicha disminución de la actividad de las mitocondrias trae consecuencias como las siguientes:

- Mayores secreciones de ácido láctico.
- Activación de la vía de la pentosa fosfato (PPP).
- Activación de la glutaminólisis, necesaria para la síntesis de ácidos nucleicos.

Dentro de la activación de la vía de la pentosa fosfato se aumenta la absorción de la glucosa y lleva consigo al anabolismo debido a la mayor síntesis de NADPH que juega un papel crucial en  $NADPH / NADP +$  relación que determina el estado redox de la célula mediante la

eliminación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y así evita la muerte celular y controla el destino celular. El cambio hacia la ruta de la pentosa fosfato también da como resultado la producción de ribosa 5-fosfato, requerido para la síntesis de ácidos nucleicos (Schwartz et al., 2017).

Además, otra consecuencia del defecto mitocondrial es la alcalosis intracelular, a causa de la disminución de la fosforilación oxidativa que resulta en una disminución de la secreción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que reacciona con el agua para crear ácido carbónico. La transformación de las células o el aumento de la división celular y resistencia a la quimioterapia están asociados con un pH intracelular más alcalino. Se ha evidenciado que en los tumores se presenta un pH invertido, el cual es más bajo a nivel intracelular con respecto al extracelular; lo que favorece a la progresión de las células cancerígenas promoviendo la proliferación, adaptación metabólica, metástasis (migración e invasión) y la evasión de la apoptosis (Schwartz et al., 2017).

Dentro de este trabajo, se realizó una revisión bibliográfica extensa de artículos científicos de diferentes bases de datos como Pubmed, Sciencedirect, SciELO, ProQuest y Scopus; con el fin de conocer los autores que han trabajado con tomate o derivados de este, en cuanto a la extracción y cuantificación de parámetros fisicoquímicos y antioxidantes como licopeno y β-caroteno. En dicha revisión se tuvo en cuenta el tipo o variedad de tomate, técnica de extracción, separación y cuantificación utilizada, la concentración de antioxidantes que obtuvieron y los parámetros fisicoquímicos que evaluaron (Tabla 2). Esta revisión contribuyó a la comprensión de conceptos claves en base a las metodologías utilizadas para la extracción, separación y cuantificación de los compuestos de interés. Además, permitió realizar una comparación entre varios artículos y el presente trabajo, con base en los parámetros anteriormente mencionados.

**Tabla 2.** Análisis de antioxidantes y parámetros fisicoquímicos en diferentes cultivares y muestras de tomate.

Tipo o variedad de tomate	Extracción	Separación y cuantificación	Concentración promedio antioxidante	Parámetros fisicoquímicos	Referencia
Tomate cherry	ELL	HPLC – UV	Lic: 10440 µg/100 g. R-toc: 0.75 mg/100g α-car: 1073µg/100g	NA	(Raffo et al., 2002)
Tomate	CO2	HPLC y un detector de matriz de fotodiodos Beckman	Lic: 0,55-0,90 g/ml	NA	(M. Salud Gomez-Prieto, M. Mar Caja, 2003)



Tomate cortado en rodajas.	ELL	Espectro fotografía rápida método métrico.	Lic: 73.3 mg/kg	pH: 4.34 °Brix: 4.35 Vit. C: 127mg/kg.	(Ayala-Zavala et al., 2008)
Salsas de tomate con <i>Agaricus brasiliensis</i>	ELL	HPLC- DAD	Lic: 38.65 % - 92.36 %	NA	(Monteiro et al., 2009)
Tomate	ELL	HPLC-ESI-MS	Lic: 53.2 mg/kg β-car: 1.0 mg/kg	NA	(Lucini et al., 2012)
Tomates tipo cereza silvestre	ELL	EFM	Lic: 0.038-0.301mg/ml β-car: 0-0.087 mg/ml	Vit C: 85mg/100g	(Ceballos-Aguirre & Vallejo Cabrera, 2012)
Tomates Ronaldo, Zoco, Pera y Cherry pera, Malva, H-9776, H-9661, H-9665 y H-9997	ELL	HPLC- DAD	Lic: 0.63- 116.66 mg / kg β-car: 0.76-5.44 mg / kg	Vit. C: 2.79-297.62 mg/kg FW.	(García-Valverde et al., 2013)
Tomates Antalya, Belle, Cemile, Izmir, Lorely, Plumty, Porto,Sacher, Tiger, Vanessa	ELL	HPLC-DAD	β-car: 6.5-20.6 mg/kg Lic: 19.7- 49 mg/kg	Vit. C: 92-330mg/kg	(Nour et al., 2013)
Tomate	EAU	EFM-UV	Lic: 57.13 and 93.92 mg/kg	NA	(Kumcuoglu et al., 2014)
Tomates descartados en el mercado local.	ELI	HPLC-PAD-MS/MS	Lic: 5.56 µg/g	NA	(Martins & Rosso, 2014)
Tomate	ELL	HPLC-PAD	Lic: 15.6 – 52.4 ng/mL	NA	(Daood et al., 2014)

Tomate.	ELL	HPLC	$\beta$ -car: 8.3 – 27.6 ng/mL Lic: 130 mg/kg $\beta$ -car: 30 mg/kg	Vit. C: 308mg/kg	(Cortés-Olmos et al., 2014)
Tomate, tomate cherry cultivados, híbridos, y silvestres.	ELL	EFM	Lic: 58 -618 mg /kg	NA	(Kavitha et al., 2014)
Cáscaras de tomate	MAE	HPLC-DAD	Lic: trans 10.362 mg / 100 g Lic: cis 4.450 mg / 100 g	NA	(Ho et al., 2015)
Tomate de ensalada, bistec, cereza y ciruela.	ELL	HPLC- UV- vis.	Lic: 35.6-3.5 $\mu$ g/mL en 6 mg Lic: 4.6-0.4 $\mu$ g/mL en 1000 g	NA.	(Cefali et al., 2015)
Tomate	ELL	EFM UV-VIS	Lic: 3,47-4,03 mg / 100 g	NA	(Poojary & Passamonti, 2015)
Tomates HLT-F71 HLT-F72 Rio Grande	ELL	EFM	Lic: 98.8-280mg/kg	Vit. C:183-370 mg/kg	(Ilahy et al., 2016)
Tomate fresco y procesado	ELL	EFM	Car: 0.095 g/kg $\beta$ -car:	NA	(Giudice et al., 2016)
Tomate y tomate cereza Dafnis y Sayran Jicored, TY- Tinny, Titi- Chal, Betatniy y Unicon	ELL.	HPLC-DAD	Lic: 1.60-97.1 mg/100 g $\beta$ -car: 2.4 -12.8 mg/100g	NA	(Bhandari & Lee, 2016)
Tomate cherry	Metilben ceno	E-nose + EFM	Lic: 1.18 - 3.98 mg/100 g	pH: 3.9 - 4.1	(Tian et al., 2016)

Tomate	ELL	EFM	Car: 3.33 - 4.47 g/ 100g	NA	(Porto et al., 2016)
Tomate y tomate cereza comercial	SPE	HPLC-SPE	$\beta$ -Car: 0.2–5 $\mu$ g / mL Lic: 0.5–30 $\mu$ g / mL	NA	(Irakli et al., 2016)
Tomate Shiren, pera roja y pera amarillo, amarillo, bola de nieve, trifele negro	ELL	HPLC -UV- vis.	Lic: 1.0 -184.4 mg/g $\beta$ -car:8.4-64.8 mg/g	$^{\circ}$ Brix: 4.5-5.5	(Zanfini et al., 2017)
Tomates cherry Summerbrix y Lazarino	ELL	HPLC-RID.	Lic: 13.4 - 19.8 mg/100 g $\beta$ -car: 2.1 - 3.7 mg/100 g	NA	(Coyago-cruz et al., 2017)
Tomate	ELL	HPLC-DAD	Car: 18 -52.2 $\mu$ g/g	NA	(Schweiggert et al., 2017)
Tomate	ELL	HPLC-UV- Vis.	Lic: (33 x 10 mg / 100 g de tomate fresco	Vitamina C: 25.9 $\pm$ 4.8 mg/ 100 g	(Melfi et al., 2018)
Tomates Lazarino y Summerbrix.	ELL	HPLC -UV- vis.	Lic: 2.5 - 778.6 mg/100 g B-car: 7.0- 37.9mg/100 g	NA	(Coyago-Cruz et al., 2018)

**$\alpha$ -car:**  $\alpha$  -caroteno.  **$\beta$ -car:**  $\beta$ -caroteno. **Car:** carotenoides totales. **EFM:** Espectrofotometría. **ESI:** Electro spray tándem. **DAD:** Detector de arreglo de diodos. **HPLC:** Cromatografía líquida de alto rendimiento **Lic:** licopeno. **MS:** espectrometría de masas. **NA:** No aplica. **N.S:** no significativo. **ELL:** Extracción líquido - líquido. **RID:** detector de índice de refracción. **UV-vis:** Detector Ultravioleta visible. **MAE:** extracción asistida por microondas. **EAU:** extracción asistida por ultrasonido. **ELI:** extracción por líquidos iónicos.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.4. MATERIAL VEGETAL

Se colectaron frutos de tomate tipo cereza silvestres de plantas cultivadas en el jardín botánico de la Universidad de Caldas, en condiciones de hidroponía, las accesiones seleccionadas fueron aquellas consideradas como promisorias para cultivo según parámetros morfoagronómicos propuestos por (Agudelo Agudelo, Ceballos Aguirre & Orozco, 2011), así mismo, se colectaron frutos de diversos colores (Tabla 3).

**Tabla 3.** Introducciones de tomate tipo cereza analizadas.

Número	Código	País de origen	Color de la fruta	Forma de la fruta
1	LA1480	Ecuador	Roja	Redonda
2	IAC1621	Brasil	Roja	Redonda
3	IAC1624	Brasil	Roja	Redonda
4	LA1705	México	Amarilla	Redonda
5	LA2076	Bolivia	Roja	Redonda
6	LA2692	Perú	Roja	Redonda
7	IAC391	Brasil	Roja	Redonda
8	IAC401	Brasil	Roja	Redonda
9	IAC412	Brasil	Rosada	Redonda
10	IAC426	Brasil	Roja	Ovalada
11	IAC426R	Brasil	Roja	Redonda

#### 3.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Las frutas de tomate fueron seleccionadas en la misma etapa de maduración, para frutas rojas con más del 90% de la superficie mostrando el color rojo según NTC 1103-1, para frutas amarillas y rosadas, estos fueron recogidos cuando presentaron un color estable y uniforme durante la maduración (Figura 4). Se homogeneizaron 100 g de fruto de tomate de cada introducción durante 60 segundos a 25 °C. Las pruebas se realizaron con el jugo fresco homogeneizado sin ninguna adición de otros componentes. Todas las muestras fueron analizadas por triplicado.



**Figura 4.** Frutos de tomate tipo cereza recolectados para su posterior análisis.

### 3.6. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.

La acidez titulable (TTA) se determinó utilizando 7 g de jugo de tomate disuelto en 100 ml del agua destilada por la titulación con NaOH 0.1 N y fenolftaleína, los resultados fueron expresados en % de ácido cítrico/100g. finalmente se determinó en base a la siguiente ecuación.

$$TTA (\%) = (V \text{ NaOH} \times N \text{ NaOH} \times 0.064 \times 100) / V \text{ muestra}$$

La cuantificación de vitamina C se realizó con 15g de jugo de tomate disuelto en 15ml del agua destilada por la titulación con la solución yodo en 24,1 mM y el almidón al 1% y HCl al 15%. El pH de las frutas totalmente maduras fue analizado utilizando un pHmetro Schott CG8220 calibrado en soluciones tampón de pH 4,0 y 7,0; el contenido de sólidos solubles (SS) expresado como °Brix, (a 20 °C) en un refractómetro Abbe Atago 8682. Finalmente se analizó el color del fruto utilizando un colorímetro FRU WR10, los resultados fueron relacionados como coordenadas L\*, a\* y b\* ubicando el área de medición del aparato en el punto medio entre la base y el cáliz de cada tomate.

### 3.7. EXTRACCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE ANTIOXIDANTES.

El  $\beta$ -caroteno y licopeno se determinaron de acuerdo con el método descrito por (Rosales Villegas, 2008) y utilizado por (Ceballos-Aguirre & Vallejo Cabrera, 2012) la extracción se realizó con 0,6 g de jugo de tomate de cada accesión recolectada en la etapa de maduración, luego se agregaron 5 ml de una solución de acetona : hexano (4:6). Después de que la solución se centrifugó a 5000 r.p.m durante 5 minutos a 4 °C, se leyó el sobrenadante en un espectrofotómetro de luz visible a cuatro longitudes de onda diferentes 453, 505, 645 y 663 nm; las concentraciones de licopeno y  $\beta$ -caroteno se expresaron como  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno o licopeno/ml de muestra, utilizando la fórmula propuesta por Nagata y Yamashita en 1992 (Nagata & Yamashita, 1992), y se calcularon mediante la fórmula:

$$\text{Licopeno } (\mu\text{g/mL}) = 0,0458 * A_{663} + 0,204 * A_{645} + 0,372 * A_{505} - 0,0806 * A_{453}$$

$$\beta\text{-caroteno } (\mu\text{g/mL}) = 0,216 * A_{663} - 1,220 * A_{645} - 0,304 * A_{505} + 0,452 * A_{453}$$

### 3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos experimentalmente para los antioxidantes y parámetros fisicoquímicos se procesaron en el software R (*R: A Language and Environment for Statistical Computing*, 2015) y en el programa SPSS. Se aplicó estadística descriptiva como media, desviación estándar y coeficiente de variación; los resultados se agruparon por cada una de las variedades estudiadas. Se verificaron los supuestos de homocedasticidad y para verificar las diferencias de las variables entre las accesiones se aplicó un análisis de varianza unifactorial (ANOVA) y una prueba de Duncan para evidenciar las diferencias significativas para las

variables que cumplieron el principio de homocedasticidad o una prueba de Kruskal- Wallis y test de Dunn en las variables que no cumplieron el principio de homocedasticidad.

Además, se realizó un análisis multivariado (PCA) y mapa de calor, que contiene el efecto de todas las variables en las 11 accesiones de interés. Se efectuó una toma de decisiones multicriterio (MCDM) con accesiones resaltadas en al menos uno de los parámetros fisicoquímicos de interés. Para este análisis, los datos se estandarizaron primero debido a la diversidad de las escalas de medición. Después de eso, se realizó un mecanismo de asignación de ponderaciones apropiadas para los criterios de decisión. Debido a la naturaleza inexplorada de esta aplicación metodológica dentro de este campo de la ciencia, el logro de una ponderación combinada se utilizó entre estrategias subjetivas y objetivas.

En la primera estrategia, se pidió a cuatro expertos que priorizaran las variables (pH, licopeno,  $\beta$ -caroteno, acidez, ° Brix, y vitamina C), según su relevancia para la selección de la accesión más promisoría. Los resultados obtenidos se promediaron entre las evaluaciones generadas por los cuatro expertos. La metodología del criterio de entropía se utilizó para el logro de ponderaciones objetivas, que se basa en la cantidad de información intrínseca proporcionada por los datos ellos mismos, evaluando su variabilidad y ponderando sus probabilidades de ocurrencia (Amorocho-daza, Cabrales, Santos, & Saldarriaga, 2019). Bajo esta perspectiva, se promediaron las ponderaciones preferenciales resultantes de la combinación de ambos procedimientos. El método de organización de clasificación de preferencia para la evaluación de enriquecimiento (PROMETHEE) se utilizó como método MCDM, que utiliza los puntajes de clasificación excesiva para un conjunto de alternativas a priorizar y luego selecciona entre múltiples Criterios entre pares que se oponen entre sí (Polat, 2015). Este método finalmente muestra un netflow de clasificación superior ( $\phi$ ) donde la adhesión con la puntuación más alta se considera superior en este estudio, de acuerdo con los parámetros fisicoquímicos y Contenidos antioxidantes.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

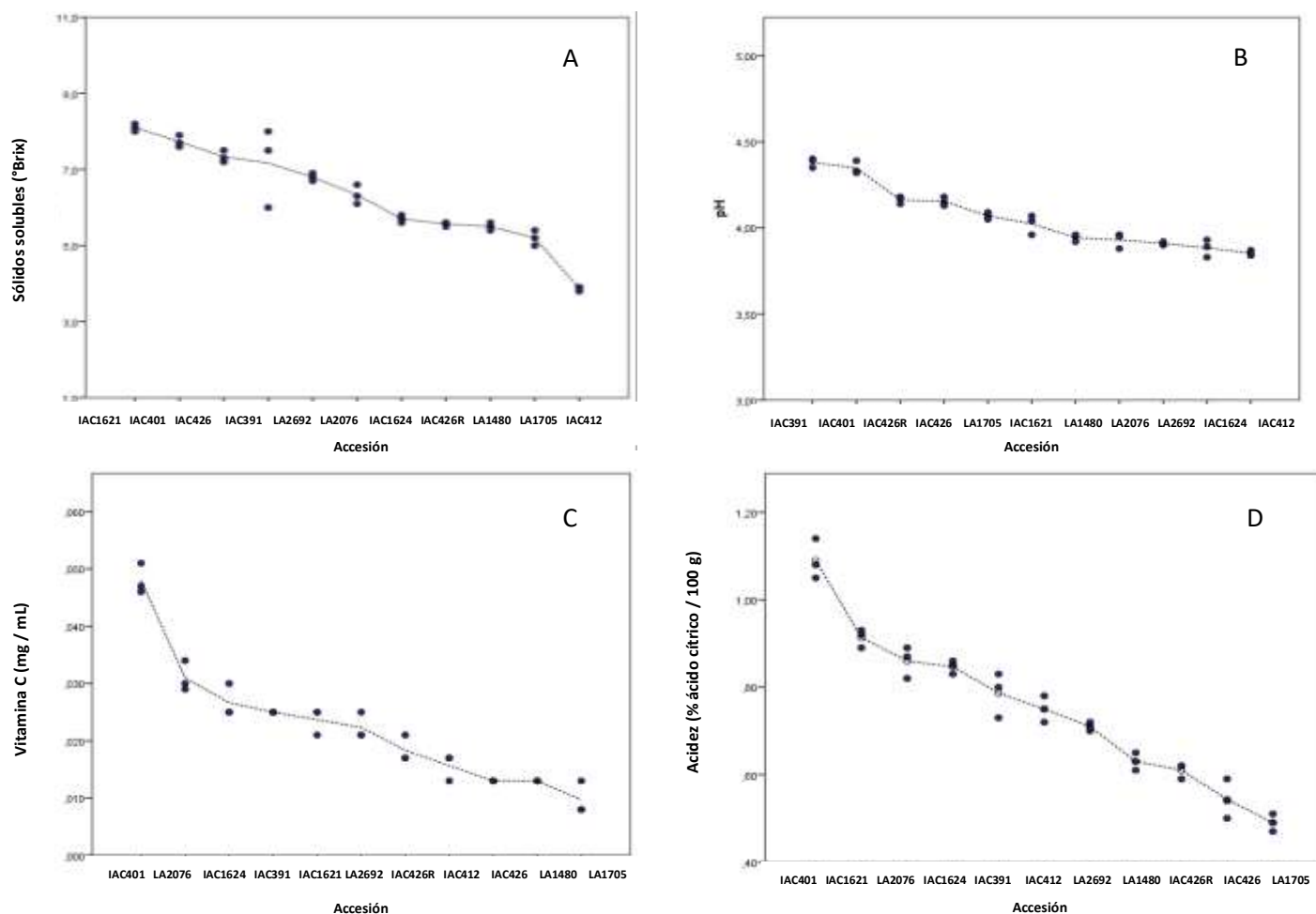
Los parámetros fisicoquímicos y la concentración de antioxidantes de las 11 introducciones de tomate tipo cereza confirmaron la variabilidad entre cada introducción, que puede estar dada por las condiciones de cultivo como el déficit de riego, concentración de nitrógeno disponible entre otras, o puede ser debido a la variabilidad genética propia de cada introducción (Coyago-Cruz et al., 2018).

### 4.4. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.

Los valores de acidez están comprendidos entre la introducción IAC401 que presenta el mayor porcentaje con un 1,09% de ácido cítrico/100 g de muestra y la introducción LA1705 presenta el menor porcentaje, con una acidez de 0,49% de ácido cítrico/100 g de muestra (Figura 5D). En cuanto, a la concentración de vitamina C la introducción IAC401 presenta los mayores niveles de ácido ascórbico (50 mg/kg), lo cual justifica que la acidez de dicha introducción sea mayor, debido al contenido de vitamina C y otros ácidos. La introducción LA1480, LA1705 y IAC426 contienen (10 mg/kg) de vitamina C, siendo esta la menor concentración y también se ve correlacionada con la acidez menor de estas introducciones de tomate tipo cereza (Figura 5C). Fue posible diferenciar tres grupos entre las introducciones con respecto al porcentaje de acidez y la concentración de vitamina C, el primer grupo que corresponde a los niveles menores, conformado por las introducciones LA1480, LA1705, IAC426 y IAC426R, el segundo por las introducciones IAC1621, IAC1624, LA2076, IAC391, IAC412 y LA2692, y el último grupo conformado por la introducción 401, la cual difiere de todas las demás presentando el mayor porcentaje de acidez y de vitamina C. Autores como (Ceballos-Aguirre & Vallejo Cabrera, 2012) encontraron valores de ácido ascórbico para tomates tipo cereza de 33 a 73 mg/100 g; con valores de 33,4 y 49 mg/100g para las introducciones IAC426, LA1705 y LA1480 respectivamente y (Nour et al., 2013) halló valores superiores a 91,9 mg/kg en tomate. La importancia de la vitamina C radica en que, es uno de los antioxidantes hidrosolubles del tomate, que reducen significativamente los efectos adversos del oxígeno y nitrógeno reactivo (Bhandari & Lee, 2016); contribuyendo en la prevención de enfermedades junto con los antioxidantes lipofílicos (García-Valverde et al., 2013). Por esta razón la introducción IAC401 entre los frutos evaluados puede utilizar como una fuente de vitamina C de manera natural, puesto que el porcentaje recomendado para la ingesta diaria de ácido ascórbico para un adulto es de (75-90 mg / día) (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] & World Health Organization [WHO], 2001), en este sentido, una persona al consumir dos frutos de la introducción IAC401 alcanza aproximadamente 100 mg/kg de vitamina C al día. Además, es importante aclarar que los niveles de vitamina C también dependen de las condiciones del cultivo como los demás parámetros fisicoquímicos.

El pH de cada una de las introducciones de tomate fue muy variable, agrupándose en tres conjuntos que representan diferentes rangos (Figura 5B). El primer grupo conformado por las introducciones LA1480, IAC1621, IAC1624, LA1705, LA2076, LA2692 y IAC412 con los bajos valores de pH, el menor valor de 3,85 se evidenció en la introducción IAC412. En el segundo grupo las introducciones IAC426 y IAC426R y finalmente se encontró un pH de

4,38 y 4,35 para las introducciones IAC391 y IAC401 respectivamente; en comparación con el pH obtenido en *L. esculentum* cortado en rodajas que fue de 4,34 (Ayala-Zavala et al., 2008), se puede decir que el pH en tomate cereza es ligeramente ácido. Además, se puede inducir que dependiendo del genotipo del tomate la cantidad de hidrogeniones presentes en él, puede ser mayor o menor. Al mismo tiempo, el pH óptimo para el crecimiento de los microorganismos es cercano a la neutralidad 7,8 (Ramos-Vásquez & Zúñiga-Dávila, 2008); por esta razón el bajo pH del tomate tipo cereza puede servir como mecanismo intrínseco de protección contra la colonización de microorganismos. Sin embargo, hay microorganismos que crecen en condiciones de pH menores a los óptimos.



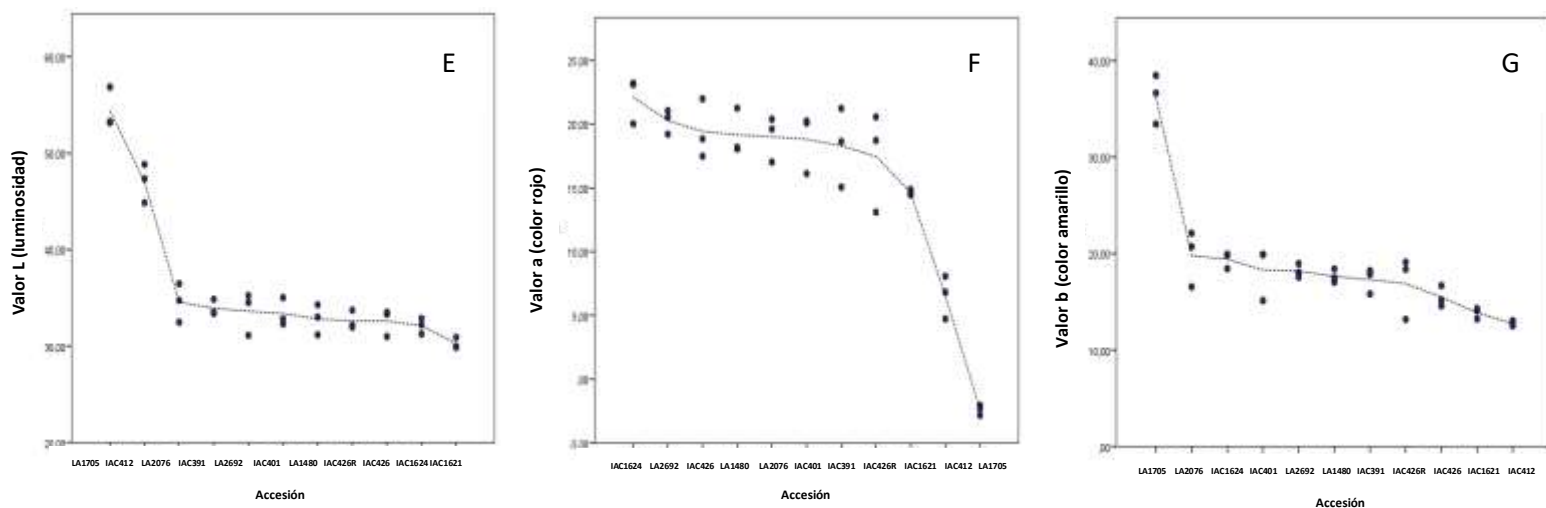
**Figura 5.** Parámetros fisicoquímicos. A: sólidos solubles, B: pH, C: ácido ascórbico, D: acidez.

El tomate tipo cereza acumula azúcares del tipo de las hexosas como la glucosa y la fructosa, fenoles, minerales y ácidos orgánicos que hacen parte de los sólidos solubles y contribuyen con el sabor del fruto. El contenido de sólidos solubles aumentan con algunas condiciones ambientales del cultivo y los estados de maduración (Agius et al., 2018). Estudios en este fruto tomate indican que el contenido de sólidos solubles incrementa con el déficit de irrigación del cultivo, lo que aumenta el sabor y por consiguiente, la calidad de la fruta



(Coyago-Cruz et al., 2018). Según (Ayala-Zavala et al., 2008) el fruto de tomate cuenta con  $4,35 \pm 0,07$  °Brix. Así mismo, (Carbonell-Barrachina, Agustí, & Ruiz, 2006) encontraron valores de sólidos solubles en variedades tradicionales de tomates como Muchamiel con  $3,74 \pm 0,17$ , De la Pera con  $3,44 \pm 0,16$  y la variedad comercial Ulises contiene  $3,20 \pm 0,08$ . En general, para estos dos autores el contenido de sólidos solubles del tomate está comprendido aproximadamente entre 3 a 5 °Brix. En el presente estudio, los °Brix fueron mayores en IAC1621, LA2076, LA2692, IAC391, IAC401, y IAC426, y menores en LA1480, IAC1624, LA1705, IAC412 y IAC426R. Presentando valores desde 3,87 °Brix para la IAC412 hasta 8,10 °Brix para la variedad IAC1621 (Figura 5A).

Con respecto al color de las variedades del tomate tipo cereza; la distribución del valor L\* que corresponde a la luminosidad del color; fue mayor en la introducción LA1705 (54,433) fruto de color amarillo y menor en la introducción IAC1621 (30,24) fruto de color rojo (Figura 6E). El valor a\* el cual indica el color rojo del fruto, fue mayor en la introducción IAC1624 (22,107) fruto rojo y menor en la introducción IAC412 (6,540) fruto rosado y para LA1705 (-2,397) fruto amarillo (Figura 6F) y el valor b\* que indica el color amarillo de los frutos, fue mayor en la introducción LA1705 (36,18) y menor en la introducción IAC412 (12,74) (Figura 6G). Los parámetros de color indican el grado de madurez de una fruta, pero solo en una porción de la misma (Fernández-ruiz et al, 2010); sin embargo, para este estudio la distribución de los valores son correspondientes al color a simple vista de las introducciones como la LA1705 y la IAC412 (Tabla 3), sus colores también podrían estar vinculados a concentraciones bajas o ausentes de licopeno ya que para la correcta maduración del fruto del tomate convencional intervienen condiciones del cultivo, en especial la temperatura que también influye en el desarrollo del licopeno, puesto que este antioxidante incrementa en el periodo final de la maduración y proporciona el color rojo del tomate (Nour et al., 2013).



**Figura 6.** Coordenadas de color. E: valor L, F: valor a, G: valor b.

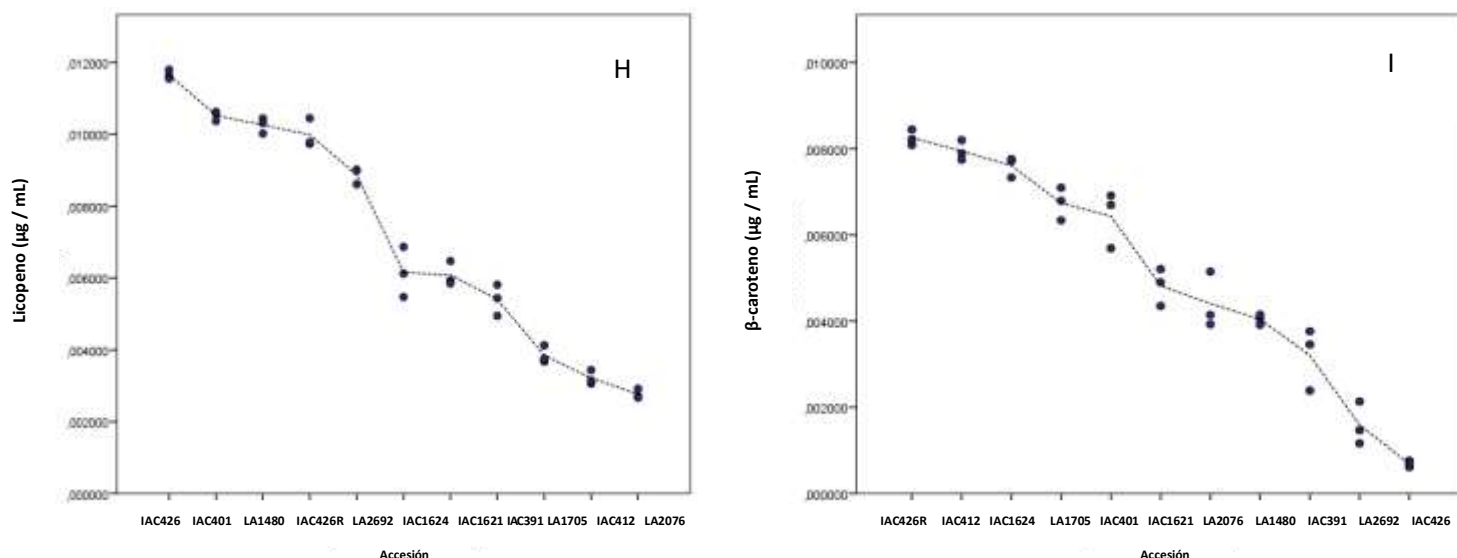
#### 4.5. CONCENTRACIÓN DE ANTIOXIDANTES.

Las frutas y vegetales contienen varios tipos de antioxidantes, entre ellos tres carotenoides que son los más activos e importantes para el cuerpo humano, estos son el  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno y el licopeno (Monteiro et al., 2009). El  $\beta$ -caroteno es el segundo antioxidante más abundante en el tomate tipo cereza después del licopeno. También posee una alta actividad antioxidante y ha sido relacionado junto con la vitamina C en la prevención de enfermedades cardiovasculares, mediante su ingesta en la dieta (Cortés-Olmos et al., 2014). También se conoce que el  $\beta$ -caroteno es el principal precursor de la vitamina A (Giudice et al., 2016), importante para la visión humana. La concentración de  $\beta$ -caroteno en este estudio fue mayor en las introducciones IAC426R, IAC412, seguido de IAC1624, LA1705, IAC401, LA1480, IAC1621 y LA2076 y menor en las variedades, IAC391, LA2692, IAC426. La introducción IAC426R presentó el valor más alto de  $\beta$ -caroteno con una concentración de 8,25 ng/mL y el menor valor para IAC426 con 0,69 ng/mL (Figura 7J). Estudios realizados por (García-Valverde et al., 2013) se encontraron valores de  $\beta$ -caroteno en rangos desde 0,76 en tomate Ronaldo verde hasta 5,44 mg/kg de peso fresco (tomate tipo cereza de la Pera rosado). Además, (Ceballos-Aguirre & Vallejo Cabrera, 2012) reportaron valores de 0 a 0,96 ug/mL (96 ng/mL) y (Nour et al., 2013) encontraron valores de 8,28 hasta 27,61 ng/mL para tomate. Investigaciones más recientes como la de (Coyago-Cruz et al., 2018), se reportaron rangos de este antioxidante que van de 1,8 a 37,9 mg/100 g de peso fresco.

Para el análisis de licopeno (Figura 7I) las introducciones IAC426, IAC401, LA1480, IAC426R, LA2692, IAC1621 y IAC1624 presentaron las mayores concentraciones del antioxidante y las introducciones IAC391, LA1705, IAC412, y LA2076 concentraciones menores. La variedad IAC426 contiene 11,66 ng de licopeno/mL, el fruto rosado IAC412 y LA2076 arrojaron los valores más inferiores de este antioxidante. La introducción IAC426 presenta un color rojo característico del estado de madurez de la fruta, siendo una de las más roja según la coordenada  $a^*$  ( $19,4333 \pm 2,30793$ ); por consiguiente, se podría establecer según los resultados una relación con el contenido de antioxidantes, como el licopeno que es el responsable del pigmento rojo del tomate, relaciones similares fueron estimadas con los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  que indican la madurez del fruto y de esta manera relacionar el contenido del licopeno (Fernández-Ruiz et al., 2010). La concentración de licopeno depende del genotipo del tomate y de la interacción con el ambiente, ya que la intensidad de la luz solar favorece la biosíntesis de los carotenoides y en especial la del licopeno (Ceballos-Aguirre & Vallejo Cabrera, 2012), así como la temperatura en que las plantas se encuentran.

La diferencia en las concentraciones de licopeno en este trabajo es explicada en parte por el genotipo, es el caso de LA1705 de color amarillo y IAC412 de color rosa con valores bajos de este parámetro. Sin embargo los valores generales promedio de los antioxidantes son notablemente más bajos que los obtenidos en las mismas accesiones evaluadas en condiciones de campo por (Ceballos-Aguirre & Vallejo Cabrera., 2012; Ceballos-Aguirre., 2012), la intensidad de la de luz es probablemente el factor que generó esa diferencia. (Coyago-Cruz et al., 2018) halló en muestras de diversos tomates niveles de licopeno entre 3,1 hasta 259,5 mg/100 g de peso seco, siendo mayor en la etapa de maduración con respecto a otras etapas en cultivares de tomate en las variedades Dafnis, Jicored, Ty-Tinny, Titi-chal, Betatniy, Sayran y Unicon (Bhandari & Lee, 2016), los autores incluso reportaron contenidos

de licopeno en etapa de maduración de hasta 110,27 mg/100 g en Unicon y Ty-Tinny con 105,67 mg/100 g.



**Figura 7.** Contenido de antioxidantes. H: licopeno, I: β-caroteno.

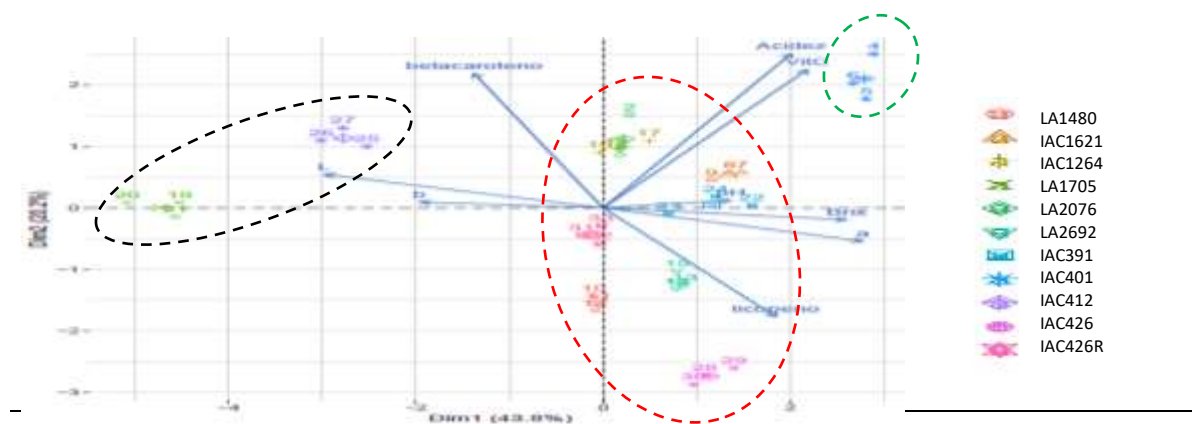
En este sentido los valores obtenidos también pueden diferir dependiendo el tipo de extracción y cuantificación, el método utilizado en este trabajo por espectrofotometría es considerado fácil, económico y rápido (D'Souza, Singha, & Ingle., 1992; Ceballos-Aguirre., 2012; Ceballos-Aguirre & Vallejo Cabrera., 2012; Kavitha et al., 2014; Zouari et al., 2014; J. Silva Porto et al., 2016; Del Giudice et al., 2017) y son generalmente útiles cuando son vinculados para un análisis en conjunto con otros parámetros como en este trabajo. Sin embargo, estas mediciones pueden realizarse a través de diversas técnicas muchas de estas reportadas para tomate o subproductos relacionados (Tabla 2), los métodos de cuantificación por HPLC pueden ser más precisos y exactos para este tipo de cuantificaciones, e incluso extracciones asistidas por ultrasonido o por microondas pueden ser utilizadas como alternativas al uso de solventes orgánicos, lo que conlleva que su análisis pueda ser realizado de múltiples formas.

El consumo de tomate ayuda a prevenir las enfermedades cardiovasculares y el cáncer, dados los beneficios que aporta el licopeno a la salud. Estudios *in vitro* han evidenciado que los carotenoides pueden reducir el colesterol previniendo los ateromas, lo cual protege de infartos, inhibe procesos de oxidación, modula los marcadores inflamatorios a nivel inmunológico, mejora la comunicación intercelular, la inhibición de la formación de tumores y la inducción de la apoptosis (Thies, Mills, Moir & Masson, 2016).

Por otra parte, el cáncer es la segunda causa de mortalidad a nivel mundial. Uno de los mecanismos especiales en la descripción de las células cancerosas es el "efecto Warburg" (Corbet et al., 2016), que hace que el microambiente extracelular de células cancerígenas sea ácido por conversión de piruvato en ácido láctico que activa la glucólisis incluso en presencia

de oxígeno. Las células cancerígenas se adaptan al pH y proliferan, pero las células normales sufren programaciones fallidas que pueden desencadenar en mutaciones a causa del medio ácido. Además, inhibe la función de las células *Natural Killers* (NK) y las células T, las cuales se encargan de la supresión de los tumores (Rabiee, Tavakol, Barati, & Joghataei, 2018). Por esta razón, se recomienda que pacientes con cáncer o quienes deseen prevenirlo consuman alimentos ricos en antioxidantes. De esta manera el tomate tipo cereza es una buena opción para estos pacientes en conjunto con la dieta mediterránea.

En el Análisis de Componentes Principales (ACP) los tres primeros componentes presentan valores propios superiores a 1, reteniendo entre los tres un total del 79,2% de la variabilidad total de los datos. La representación gráfica de los dos primeros componentes (Figura 8A) resume en gran medida las diferencias fundamentales entre las accesiones. En síntesis, los frutos más promisorios para cultivo se encuentran asociados en el centro del ACP, (círculo rojo). En círculo negro se encuentran las accesiones que definitivamente no se seleccionan como promisorias por sus características fisicoquímicas y en círculo verde la accesión IAC401 que, aunque presentó los niveles más altos de acidez y vitamina C, también puede verse afectada en atributos sensoriales con notas amargas no deseadas para un tomate, debido a estos valores (Tandon, Baldwin, Scott & Shewfelt, 2003).



**Accesiones**

Parámetro	LA2076	IAC401	IAC1621	LA1480	LA2692	IAC1624	LA1705	IAC391	IAC412	IAC426	IAC426R
Acidez	High	High	High	Low	Low	High	High	High	High	Low	Low
Vitamina C	High	High	High	Low	Low	High	High	High	High	Low	Low
pH	Low	Low	Low	High	High	Low	Low	Low	Low	High	High
°Brix	High	High	High	Low	Low	High	High	High	High	Low	Low
Licopeno	Low	Low	Low	High	High	Low	Low	Low	Low	High	High
B-caroteno	High	High	High	Low	Low	High	High	High	High	Low	Low

Min  Max

**Figura 8. A.** Análisis de componentes principales de la interacción de las variables fisicoquímicas estudiadas y las accesiones de tomate cereza silvestres **B.** Mapa de calor de las concentraciones fisicoquímicas en 11 accesiones de tomate tipo cereza.

En cuanto al mapa de calor (Figura 8B) confirma que las accesiones LA1705 y LA2692 tenían colores menos intensos, lo que las hacía poco interesante en este análisis. Sería interesante confrontar los valores fisicoquímicos de las accesiones, como IAC401, con atributos sensoriales, ya que pueden verse afectados con sabores amargos no deseados (Tandon et al. 2003).

Al realizar el análisis de decisiones multicriterio (Tabla 4) se tuvieron en cuenta varios puntos, primero que todo no se tomaron en cuenta las accesiones con valores muy bajos para los parámetros de interés (accesiones IAC391, LA1705, LA2692), es por esto por lo que el análisis solo se realizó con las 8 accesiones que resaltaban en al menos una característica deseada. Una vez realizado el estudio, la accesión IAC401 con un  $\phi(a)$  de 0,5010 puede ser considerada como la más promisoría para considerarse como un cultivo de un alimento funcional. En orden IAC426R y IAC1624 también obtuvieron valores positivos de  $\phi(a)$ .

**Tabla 4.** Análisis de decisiones multicriterio usando el método PROMETHEE para la selección de una introducción de tomate tipo cereza.

Accesión	LA1480	IAC1621	IAC1624	LA2076	IAC401	IAC412	IAC426	IAC426R
$\phi(a)$	0,2787	0,4321	0,5244	0,3113	0,7164	0,3369	0,3918	0,5273
$\phi^-(a)$	0,5137	0,4690	0,3403	0,5625	0,2154	0,5283	0,5587	0,3310
$\phi^+(a)$	-0,2349	-0,0369	0,1841	-0,2512	0,5010	-0,1914	-0,1669	0,1963
<b>Orden de preferencia</b>								
Accesión	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
	IAC401	IAC426R	IAC1624	IAC1621	IAC426	IAC412	LA1480	LA2076

## 5. CONCLUSIONES

Los parámetros fisicoquímicos del tomate tipo cereza ponen en evidencia las diferencias en cuanto al genotipo del tomate; dado que, las 11 introducciones se cultivaron bajo las mismas condiciones y se recolectaron en la etapa de madurez para el posterior análisis. Además, las introducciones IAC426 y IAC426R originarias de Brasil de color rojo y siendo la misma accesión, se diferencian por la forma del fruto ovalado - redondo respectivamente a nivel cualitativo; a nivel cuantitativo presentaron pH similar de 4,1 y diferencias en cuanto a la acidez total y el contenido de vitamina C, siendo mayor en la introducción IAC426R, y con una mayor concentración de antioxidantes en IAC426R, con 9,98 ng/ml de licopeno y 8,25 ng/mL de  $\beta$ -caroteno comparado con 11,66 ng/mL de licopeno y 0,69 ng/mL de  $\beta$ -caroteno en IAC426.

Los tomates presentan tamaños y formas variables, sin embargo, con respecto al color las accesiones no rojas LA1705 y IAC412 presentaron marcadas diferencias, no solo en parámetros fisicoquímicos especialmente en el color, sino también en el contenido de antioxidantes. IAC412 presentó 3,21 ng/mL de licopeno y 7,94 ng/mL de  $\beta$ -caroteno y LA1705 tuvo 3,85 ng/mL de licopeno y 6,74 ng/mL de  $\beta$ -caroteno. La relación del color con la presencia de licopeno es clara para estas dos introducciones, que presentan tonos amarillos y rosados al carecer de licopeno, pigmento responsable del color rojo de los tomates (Zanfini et al., 2017). Lo cual, también se evidencia en las bajas concentraciones de este antioxidante en la cuantificación por espectrofotometría.

En las variaciones con respecto al contenido de antioxidantes con otros estudios realizados por distintos autores influyen parámetros como el genotipo, condiciones de crecimiento, condiciones ambientales y factores bióticos y abióticos (Coyago-Cruz et al., 2018). Sin embargo, las concentraciones de licopeno son significativas para las introducciones LA1480, IAC1624, LA2692, IAC391, IAC426. Según (Giudice et al., 2016) las concentraciones de licopeno oscilan de 8 - 40 mg/kg en peso fresco. Puesto, que el tomate es la principal fuente de licopeno para el ser humano. En este estudio, el mayor contenido de licopeno fue encontrado en la introducción IAC426 con un 172,4 ng/mL. En cuanto a las concentraciones de  $\beta$ -caroteno fue mayor en la introducción IAC426R con 8,25 ng/mL. Se puede proponer como alimento funcional la introducción IAC426R puesto que presenta un alto contenido de licopeno, betacaroteno y vitamina C con respecto a las demás.

Para finalizar *International Life Science Institute* define como alimento funcional a aquellos alimentos que, por sus componentes fisiológicamente activos, tienen un beneficio para la salud más allá de su acción clásica (Navarro-González & Periago, 2016). El tomate *Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme* puede ser considerado un alimento saludable y funcional, gracias a sus componentes. Este efecto protector del tomate tipo cereza hacia la salud ha sido atribuido especialmente al licopeno (Navarro-González & Periago, 2016b). Por dichas razones, en cooperación con todos los análisis realizados y con base en la toma de decisiones multicriterio, las introducciones IAC401, IAC426R y IAC1624 pueden ser consideradas promisorias para siembra comercial y establecerse como alimento funcional; puesto que,

presenta un pH bajo, niveles considerables de vitamina C, valores promedios de SS, y el mayor contenido de licopeno y  $\beta$ - caroteno entre los cultivares analizados.

## 6. RECOMENDACIONES

- Con este trabajo se abre la posibilidad de mejorar la producción, comercio y aceptación del tomate tipo cereza. Además, se evidencia la importancia de investigar la resistencia del tomate tipo cereza frente a los patógenos que afectan a las demás variedades de tomate.
- Los beneficios del tomate tipo cereza deberían seguirse estudiando en cuanto a la contribución en prevención de cáncer y enfermedades cardiovasculares; principalmente cual es la manera en que sus componentes actúan en el cuerpo ayudando a mejorar estos problemas, para tener una mejor comprensión de ellos, y si es posible crear fármacos a base de estos, que contengan mejor absorción en el organismo.
- En cuanto a la metodología es importante estar informados de nuevas alternativas con el fin de detectar mínimas cantidades de un compuesto en una muestra o la manera de realizar la mejor extracción sin solventes tóxicos para el ambiente y el ser humano.



## 7. REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS

- Agius, C., Tucher, S. Von, Poppenberger, B., & Rozhon, W. (2018). Quantification of sugars and organic acids in tomato fruits. *MethodsX*, 5(May), 537–550. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.05.014>
- Agudelo Agudelo, Alexis Giomara Ceballos Aguirre, N., & Orozco, F. J. (2011). Caracterización morfológica del tomate tipo cereza ( *Solanum lycopersicum* LINNAEUS ). *Agron*, 19(2), 44–53.
- Ahmad, P., Ahanger, M. A., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Alam, P. (2017). Exogenous application of nitric oxide modulates osmolyte metabolism , antioxidants , enzymes of ascorbate-glutathione cycle and promotes growth under cadmium stress in tomato. *Protoplasma*. <https://doi.org/10.1007/s00709-017-1132-x>
- Aldrich, H. T., Salandanan, K., Kendall, P., Bunning, M., Stonaker, F., Külen, O., & Stushnoff, C. (2010). Cultivar choice provides options for local production of organic and conventionally produced tomatoes with higher quality and antioxidant content. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2548–2555. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4116>
- Alkhatib, A., Tsang, C., Tiss, A., Bahorun, T., Arefanian, H., Barake, R., ... Tuomilehto, J. (2017). Functional Foods and Lifestyle Approaches for Diabetes Prevention and Management. *Nutrients*, 9, 1–18. <https://doi.org/10.3390/nu9121310>
- Amorocho-daza, H., Cabrales, S., Santos, R., & Saldarriaga, J. (2019). A New Multi-Criteria Decision Analysis Methodology for the Selection of New Water Supply Infrastructure. *Water*, 11, 1–23.
- Anton, D., Bender, I., Kaart, T., Roasto, M., Heinonen, M., Luik, A., & Püssa, T. (2017). Changes in Polyphenols Contents and Antioxidant Capacities of Organically and Conventionally Cultivated Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) Fruits During Ripening. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2017, 6–10. <https://doi.org/10.1155/2017/2367453>.
- Awasthi, S., & Awasthi, A. (2020). Role of vitamin a in child health and nutrition. *Clinical Epidemiology and Global Health*, (January), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2020.03.016>
- Ayala-Zavala, F., Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., González-Aguilar, G., Álvarez-Parrilla, E., & Martín-Belloso, O. (2008). Bio-preservation of fresh-cut tomatoes using natural antimicrobials. *European Food Research and Technology*, 226(5), 1047–1055. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0630-z>
- Bhandari, S. R., Cho, M., & Lee, J. G. (2016). Genotypic Variation in Carotenoid , Ascorbic Acid , Total Phenolic , and Flavonoid Contents , and Antioxidant Activity in Selected Tomato Breeding Lines. *Hortic. Environ. Biotechnol.*, 57(5), 440–452. <https://doi.org/10.1007/s13580-016-0144-3>
- Bhandari, S. R., & Lee, J. G. (2016). Ripening-Dependent Changes in Antioxidants , Color

Attributes , and Antioxidant Activity of Seven Tomato ( *Solanum lycopersicum* L .) Cultivars, 2016.

- Carbonell-Barrachina, Agustí, A., & Ruiz. (2006). Analysis of flavor volatile compounds by dynamic headspace in traditional and hybrid cultivars of Spanish tomatoes. *European Food Research and Technology*, 222(5–6), 536–542. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0131-x>
- Casierra-Posada, F., & Aguilar-Avenidaño, Ó. (2014). Calidad en frutos de tomate ( *Solanum lycopersicum* L .) cosechados en diferentes estados de madurez Calidad en frutos de tomate ( *Solanum lycopersicum* L .) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana*, 26(August), 300–307.
- Ceballos-Aguirre, N. (2012). Evaluación agronómica, molecular e interacción genotipo-ambiente de introducciones de tomate tipo cereza. *Digital Times, Unknown*(Unknown), 151.
- Ceballos-Aguirre, N., & Vallejo Cabrera, F. A. (2012). Evaluating the fruit production and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 65(2), 6593–6604.
- Cefali, L. C., Cazedey, E. C. L., Souza-Moreira, T. M., Correa, M. A., Salgado, H. R. N., & Isaac, V. L. B. (2015). Antioxidant Activity and Validation of Quantification Method for Lycopene Extracted from Tomato. *Journal of AOAC International*, 98, 1340–1345. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.14-151>
- Chan-young, P., Young-jun, K., & Youngjae, S. (2016). Effects of an Ethylene Absorbent and 1-Methylcyclopropene on Tomato Quality and Antioxidant Contents during Storage. *Hortic. Environ. Biotechnol*, 57(1), 38–45. <https://doi.org/10.1007/s13580-016-0130-9>
- Corbet, C., Pinto, A., Martherus, R., Santiago de Jesus, J. P., Polet, F., & Feron, O. (2016). Acidosis Drives the Reprogramming of Fatty Acid Metabolism in Cancer Cells through Changes in Mitochondrial and Histone Acetylation. *Cell Metabolism*, 24(2), 311–323. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.07.003>
- Cortés-Olmos, C., Leiva-Brondo, M., Roselló, J., Raigón, M. D., & Cebolla-Cornejo, J. (2014). The role of traditional varieties of tomato as sources of functional compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(14), 2888–2904. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6629>
- Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Hernanz, D., Benítez-González, A., Stinco, C., & Meléndez-Martínez, A. (2018). Antioxidants (carotenoids and phenolics) profile of cherry tomatoes as influenced by deficit irrigation, ripening and cluster. *Food Chemistry*, 240(March 2017), 870–884. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.028>
- Coyago-cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Hernanz, D., Stinco, C., & Meléndez-martínez, A. (2017). Effect of the fruit position on the cluster on fruit quality , carotenoids , phenolics and sugars in cherry tomatoes ( *Solanum lycopersicum* L .). *Food Research International*, (July), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.002>

- D'Souza, M., Singha, S., & Ingle, M. (1992). Lycopene Concentration of Tomato Fruit can be Estimated from Chromaticity Values. *HortScience*, 27(5), 465–466.
- Daood, H., Bencze, G., Palotás, G., Pék, Z., Sidikov, A., & Helyes, L. (2014). HPLC analysis of carotenoids from tomatoes using cross-linked C18 column and MS detection. *Journal of Chromatographic Science*, 52(9), 985–991. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmt139>
- Del Giudice, R., Petruk, G., Raiola, A., Barone, A., Monti, D. M., & Rigano, M. M. (2017). Carotenoids in fresh and processed tomato (*Solanum lycopersicum*) fruits protect cells from oxidative stress injury. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(5), 1616–1623. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7910>
- Farag, M., Abdelwareth, A., Sallam, I., Jehmlich, N., Fritz-wallace, K., Serena, S., ... Bergen, M. Von. (2020). Metabolomics reveals impact of seven functional foods on metabolic pathways in a gut microbiota model. *Journal of Advanced Research*, 23, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.01.001>
- Fenni, S., Hammou, H., Astier, J., Bonnet, L., Karkeni, E., Couturier, C., ... Landrier, J.-F. (2017). Lycopene and tomato powder supplementation similarly inhibit high-fat diet induced obesity , inflammatory response , and associated metabolic disorders. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61.
- Fernández-Ruiz, V., José Torrecilla, Cámara, M., Mata, C. S., & Shoemaker, C. (2010). Talanta Radial basis network analysis of color parameters to estimate lycopene content on tomato fruits, 83, 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.08.020>
- Flores, P., Sánchez, E., Fenoll, J., & Hellín, P. (2016). Genotypic variability of carotenoids in traditional tomato cultivars. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.07.014>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], & World Health Organization [WHO]. (2001). Human Vitamin and Mineral Requirements. *Human Vitamin and Mineral Requirements*, 249–269. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-06619-8.10013-1>
- García-Valverde, V., Navarro-González, I., García-Alonso, J., & Periago, M. J. (2013). Antioxidant Bioactive Compounds in Selected Industrial Processing and Fresh Consumption Tomato Cultivars. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 391–402. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0687-3>
- Ghoora, M., Haldipur, A., & Srividya. (2020). Comparative evaluation of phytochemical content, antioxidant capacities and overall antioxidant potential of select culinary microgreens. *Journal of Agriculture and Food Research*, 100046. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100046>
- Giudice, R., Rigano, G. P., Raiola, A., Barone, A., Monti, D. M., & Rigano, M. M. (2016). Carotenoids in fresh and processed tomato ( *Solanum lycopersicum* ) fruits protect cells from oxidative stress injury, (July). <https://doi.org/10.1002/jsfa.7910>
- Gong, Y., Huang, X.-Y., Pei, D., Duan, W.- Da, Zhang, X., Sun, X., & Di, D.-L. (2020). The applicability of high-speed counter current chromatography to the separation of natural

- antioxidants. *Journal of Chromatography A*, 461150. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.461150>
- González Userralde, F., Casanova Morales, A., Rodríguez Hernández, M., Salgado Pulido, J., & Miranda Cabrera, I. M. (2017). Comportamiento de portainjertos sobre el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones protegidas. *Agrotecnia de Cuba*, 41(April), 31–40.
- Harsij, M., Kanani, H. G., & Adineh, H. (2020). Effects of antioxidant supplementation (nano-selenium, vitamin C and E) on growth performance, blood biochemistry, immune status and body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under sub-lethal ammonia exposure. *Aquaculture*, 521, 734942. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734942>
- Ho, Ferruzzi, Liceaga, & Martín-González, S. (2015). Microwave-assisted extraction of lycopene in tomato peels: Effect of extraction conditions on all-trans and cis-isomer yields. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.061>
- Ilahy, R., Siddiqui, M. W., Piro, G., Lenucci, M. S., & Hdidier, C. (2016). Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology Year-to-year Variations in Antioxidant Components of High-Lycopene Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Breeding Lines, 4(6), 486–492.
- Irakli, M., Chatzopoulou, P., Kadoglidou, K., & Tsivelika, N. (2016). Optimization and development of a high-performance liquid chromatography method for the simultaneous determination of vitamin E and carotenoids in tomato fruits. *Separation Science*, 1–21. <https://doi.org/10.1002/jssc.201600491>
- Kavitha, P., Shivashankara, K., Rao, V., Sadashiva, A., Ravishankar, K., & Sathish, G. (2014). Genotypic variability for antioxidant and quality parameters among tomato cultivars, hybrids, cherry tomatoes and wild species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(5), 993–999. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6359>
- Kumcuoglu, S., Yilmaz, T., & Tavman, S. (2014). Ultrasound assisted extraction of lycopene from tomato processing wastes. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 4102–4107. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0926-x>
- Lucini, L., Pellizzoni, M., Baffi, C., & Molinari, G. Pietro. (2012). Rapid determination of lycopene and  $\beta$  -carotene in tomato by liquid chromatography / electrospray tandem mass spectrometry, (November 2011), 1297–1303. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4698>
- M. Salud Gomez-Prieto, M. Mar Caja, M. H. A. (2003). Supercritical Fluid Extraction of all - trans- Lycopene from, 3–7.
- Maoka, T., Yamano, Y., Wada, A., Etho, T., Terada, Y., Tokuda, H., & Nishino, H. (2015). Oxidative Metabolites of Lycopene and  $\gamma$  - Carotene in Gac (*Momordica cochinchinensis* ). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 1622–1630. <https://doi.org/10.1021/jf505008d>
- Martins, P., & Rosso, V. (2014). Carotenoids achieving from tomatoes discarded using ionic

liquids as extracting for application in food industry, 35–38.  
<https://doi.org/10.14684/SHEWC.14.2014.35-38>

- Melfi, M. T., Nardiello, D., Cicco, N., Candido, V., & Centonze, D. (2018). Simultaneous determination of water- and fat-soluble vitamins, lycopene and beta-carotene in tomato samples and pharmaceutical formulations: Double injection single run by reverse-phase liquid chromatography with UV detection. *Journal of Food Composition and Analysis*, 70(December 2017), 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.04.002>
- Milani, A., Basirnejad, M., Shahbazi, S., & Bolhassani, A. (2017). Carotenoids: biochemistry, pharmacology and treatment. *British Journal of Pharmacology*, 174(1290), 1324. <https://doi.org/10.1111/bph.13625>
- Monteiro, C. S., Obdulio, M., Balbi, M. E., Teixeira Padilha Da Silva Penteado, P., & Haracemiv Chaves, S. M. (2009). Extraction of lycopene from tomato sauce with mushrooms (*Agaricus brasiliensis*), determined by high-performance liquid chromatography. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(August), 72–78. <https://doi.org/10.1080/09637480802090445>
- Mordente, Guantario, Meucci, Silvestrini, Lombardi, Martorana, ... Böhm. (2011). Lycopene and Cardiovascular Diseases: An Update. *Current Medicinal Chemistry*, 18(8), 1146–1163. <https://doi.org/10.2174/092986711795029717>
- Mubarok, S., Ezura, H., Abdilah, M., Qonit, H., Prayudha, E., Suwali, N., & Kurnia, D. (2019). Alteration of nutritional and antioxidant level of ethylene receptor tomato mutants, Sletr1-1 and Sletr1-2. *Scientia Horticulturae*, 256(May), 108546. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108546>
- Nagata, & Yamashita. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit Masayasu N. *J. Japan. Soc. Food Sci. Technol.*, 39(10), 925–928. <https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925>
- Navarro-González, I., & Periago, M. J. (2016a). El tomate, ¿alimento saludable y/o funcional? *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(4), 323–335. <https://doi.org/10.14306/renhyd.20.4.208>
- Navarro-González, I., & Periago, M. J. (2016b). *Nutrición Humana y Dietética*, 20(4), 323–335. <https://doi.org/10.14306/renhyd.20.4.208>
- Nimse, S. B., & Pal, D. (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances*, 5, 27986–28006. <https://doi.org/10.1039/c4ra13315c>
- Nour, V., Trandafir, I., & Ionica, M. (2013). Antioxidant Compounds, Mineral Content and Antioxidant Activity of Several Tomato Cultivars Grown in Southwestern Romania, 41(1), 136–142. <https://doi.org/https://doi.org/10.15835/nbha4119026>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, F. (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo* (Vol. 020).
- Pardo, C., Vries, E., Buitrago, L., & Gamboa, O. (2017). *Atlas de mortalidad por cáncer en Colombia, cuarta edición*.

- Polat, G. (2015). Subcontractor selection using the integration of the AHP and PROMETHEE methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(8), 1042–1054. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.948910>
- Poojary, M., & Passamonti, P. (2015). Extraction of lycopene from tomato processing waste: Kinetics and modelling. *Food Chemistry*, 173, 943–950. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.127>
- Porto, J. silva, Rebouças, tiyoko nair hojo, Moraes, maria olimpia batista, Bomfim, marinês pereira, Lemos, odair lacerda, Luz, josé magno queiroz, ... Luz, josé magno queiroz. (2016). Quality and antioxidant activity of tomato cultivated under different sources and doses of nitrogen. *Revista Caatinga*, 29(4), 780–788.
- R: *A Language and Environment for Statistical Computing*. (2015) (Vol. 2). <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74686-7>
- Rabiee, S., Tavakol, S., Barati, M., & Joghataei, M. T. (2018). Autophagic , apoptotic , and necrotic cancer cell fates triggered by acidic pH microenvironment, (October), 1–9. <https://doi.org/10.1002/jcp.27876>
- Raffo, A., Leonardi, C., Fogliano, V., Ambrosino, P., Salucci, M., Gennaro, L., ... Quaglia, G. (2002). Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(22), 6550–6556. <https://doi.org/10.1021/jf020315t>
- Ramos-Vásquez, E., & Zúñiga-Dávila, D. (2008). Efecto de la humedad , temperatura y ph del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio soil microbial activity in response to different conditions of moisture , temperature or pH. *Ecología Aplicada*, 7.
- Ribeiro, D., Sousa, A., Nicola, P., Miguel, J., Oliveira, P. F. De, Rufino, A. T., ... Fernandes, E. (2020).  $\beta$ -Carotene and its physiological metabolites: Effects on oxidative status regulation and genotoxicity in in vitro models. *Food and Chemical Toxicology*, 111392. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111392>
- Rosales Villegas, M. A. (2008). *Producción y calidad nutricional en frutos de tomate cherry cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: respuestas metabólicas y fisiológicas*.
- Sacco, A., Raiola, A., Calafiore, R., Barone, A., & Rigano, M. M. (2019). New insights in the control of antioxidants accumulation in tomato by transcriptomic analyses of genotypes exhibiting contrasting levels of fruit metabolites. *BMC Genomics*, 1–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12864-019-5428-4>
- Saini, R. K., & Keum, Y. S. (2018). Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food Chemistry*, 240(June 2017), 90–103. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.099>
- Schwartz, L., Seyfried, T., Alfarouk, K. O., Moreira, J. D. V., & Fais, S. (2017). Out of Warburg Effect : an effective cancer treatment targeting the tumor specific metabolism and dysregulated pH. *Seminars in Cancer Biology*. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2017.01.005>

- Schweiggert, R., Ziegler, J., Metwali, E., Mohamed, F., Almaghrabi Omar, Kadasa, N., & Carle, R. (2017). Carotenoids in mature green and ripe red fruits of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under different levels of irrigation. *Archives of Biological Sciences*, 69(2), 305–314. <https://doi.org/10.2298/abs160308102s>
- Tandon, Baldwin, Scott, & Shewfelt. (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>
- Thies, F., Mills, L., Moir, S., & Masson, L. (2016). Cardiovascular benefits of lycopene: fantasy or reality? *Proceedings of the Nutrition Society*, (March), 1–6. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000744>
- Tian, Wang, Hong, & Wang. (2016). Fast determination of lycopene content and soluble solid content of cherry tomatoes using metal oxide sensors based electronic nose, 45(2), 182–189. <https://doi.org/10.1556/AAlim.2015.0006>
- Tilahun, S., Park, D. S., Seo, M. H., Hwang, I. G., Kim, S. H., Choi, H. R., & Jeong, C. S. (2018). Prediction of lycopene and  $\beta$ -carotene in tomatoes by portable chroma-meter and VIS / NIR spectra. *Postharvest Biology and Technology*, 136(August 2017), 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.007>
- Valencia, O., Lopes, G., Sanchez, P., Acuña, L., Uribe, D., & Gonzalez, J. (2019). Incidence and Prevalence of Cancer in Colombia: The Methodology Used Matters. *American Society of Clinical Oncology*, 1–7.
- Wang, S., Chu, Z., Jia, R., Dan, F., Shen, X., Li, Y., & Ding, X. (2018). SIMYB12 Regulates Flavonol Synthesis in Three Different Cherry Tomato Varieties. *Scientific Reports*, (December 2017), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19214-3>
- Wilkerson, E., Anthon, G., Barrett, D., Sayajon, G. F., Santos, A., & Rodriguez-saona, L. (2013). Rapid Assessment of Quality Parameters in Processing Tomatoes Using Hand-Held and Benchtop Infrared Spectrometers and Multivariate Analysis. *Agricultural and Food Chemistry Of*, 61. <https://doi.org/10.1021/jf304968f>
- Xiong, K., Zhou, L., Wang, J., Ma, A., Fang, D., Xiong, L., & Sun, Q. (2020). Construction of food-grade pH-sensitive nanoparticles for delivering functional food ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 96(May 2019), 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.019>
- Xu, S., Sun, X., Lu, H., Yang, H., Ruan, Q., Huang, H., & Chen, M. (2018). Detecting and Monitoring the Flavor of Tomato (*Solanum lycopersicum*) under the Impact of Postharvest Handlings by Physicochemical Parameters and Electronic Nose. *Sensors*, 18, 1–15. <https://doi.org/10.3390/s18061847>
- Zanfini, Franchi, Massarelli, Corbini, & Dreassi. (2017). Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity in five tomato (*lycopersicon esculentum* mill.) cultivars. *Italian Journal of Food Science*, 29, 90–100.
- Zouari, I., Salvioli, A., Chialva, M., Novero, M., Miozzi, L., Tenore, G., ... Bonfante, P. (2014). From root to fruit: RNA-Seq analysis shows that arbuscular mycorrhizal

symbiosis may affect tomato fruit metabolism. *BMC Genomics*, 15(1).  
<https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-221>



## 8. ANEXOS

**Anexo 1.** Artículo publicado en la revista *Bragantia* (Q1) del trabajo titulado "Selection of Promissory Crops of Wild Cherry-Type Tomatoes using Physicochemical Parameters and Antioxidant Contents".

<https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190276>

### Selection of promissory crops of wild cherry-type tomatoes using physicochemical parameters and antioxidant contents

Lina María Londoño-Giraldo<sup>1</sup> , Jessika Gonzalez<sup>2</sup> , Andres Mauricio Baena<sup>3</sup> , Omar Tapasco<sup>4</sup> , Eduardo Javid Corpas<sup>2</sup> , Gonzalo Taborda<sup>3</sup> 

1. Universidad Libre – Facultad de Ciencias de la Salud Pereira - Risaralda, Colombia.

2. Universidad Católica de Manizales – Programa de Bacteriología - Manizales, Caldas, Colombia.

3. Universidad de Caldas – Departamento de Química - Manizales - Caldas, Colombia.

4. Universidad de Caldas – Departamento de Matemáticas - Manizales - Caldas, Colombia.

**ABSTRACT:** Tomato is considered a fruit with a high food demand across the world due to its high antioxidant capacity. Lycopene content in tomato has been widely studied, particularly in cherry-type tomatoes which are considered a high source of lycopene for humans. The aim of this study was to analyze the differences in terms of concentration and variation of diverse physicochemical parameters of quality (acidity, vitamin C, pH, °Brix, color coordinates L\*, a\* and b\*) and, antioxidants like  $\beta$ -carotene and lycopene in 11 accessions of cherry-type tomatoes, considering the advantages of antioxidants for human health. Multicriteria analysis and other tests showed substantial differences among the accessions. IAC401 was associated with the best physicochemical characteristics of a promissory cherry-type tomato for cultivation due to its association with functional food, followed by IAC426R and IAC1624. This study allowed an innovative association of physicochemical characteristics and antioxidant contents of cherry-type tomatoes through multicriteria analyses which enable the analysis, elimination, and proposal of promising accessions for their use in future crops which will promote the best intrinsic features of tomato to be used in the studied region. In this case accessions with the highest scores offer not only optimum amounts of antioxidants and highest levels of organic acids and sugars.

**Key words:** lycopene,  $\beta$ -carotene, vitamin C, soluble solids, *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*.

Received:  
Jul. 16, 2019

Accepted:  
Feb. 3, 2020

Editor:  
Ricardo Giehl

\*Corresponding author:  
lina.2271528593@ucaldas.edu.co

**Anexo 2.** Certificado de asistencia al IX ENCUENTRO DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN, VIII Encuentro Nacional de experiencias significativas en investigación formativa, IV Encuentro de estudiantes de movilidad del programa Delfín. Realizado por la Red Regional de Semilleros de Investigación RREDSI, en la ciudad de Tuluá-Valle el día 17 y 18 de octubre del 2019.



**Anexo 3.** Certificado de asistencia al IV Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación Red de Universidades Católicas de Colombia. Realizado por la Universidad Católica de Manizales el día 12 de septiembre del 2019.



Universidad<sup>®</sup>  
Católica  
de Manizales



OUCO  
Universidad Católica de Oriente



UNICATÓLICA  
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA CATÓLICA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ORIENTE



Universidad  
CATÓLICA  
de Pereira

---

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN

---

La Universidad Católica de Manizales en representación de la Universidad Católica de Oriente,  
la Fundación Universitaria Católica LUMEN GENTIUM y la Universidad Católica de Pereira

---

Certifica que

**Jessika González Carvajal**  
C.C 1053869873

Participó en calidad de **Ponente** en el

*IV Encuentro Nacional de  
Semilleros de Investigación  
Red de Universidades Católicas de Colombia*

Realizado en la ciudad de Manizales (Caldas),  
12 de septiembre de 2019, con una intensidad de 8 horas

*Maria Elizabeth Caicedo C.*  
Mgtra. Hna. Maria Elizabeth Caicedo Caicedo O.P.  
Rectora  
Universidad Católica de Manizales

*Catalina Triana Navas*  
Mgtra. Catalina Triana Navas  
Secretaria General  
Universidad Católica de Manizales

*Nicky Anderson Gómez Hincapié*  
Ing. Nicky Anderson Gómez Hincapié  
Coordinador Unidad de Investigación e Innovación  
Universidad Católica de Manizales

*Dado en Manizales (Colombia) el 12 de septiembre de 2019*

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN | La Universidad Católica de Manizales es una Institución de Educación Superior,  
sujeta a inspección y vigilancia por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia

**Anexo 4.** Certificado de asistencia al XI Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación RREDSI Nodo Caldas. Realizado por la Red Regional de Semilleros de Investigación RREDSI Nodo Caldas. En la ciudad de Manizales-Caldas el día 20 de mayo del 2019.



**CERTIFICA QUE:**  
**JESSIKA GONZÁLEZ CARVAJAL**

Con documento de identidad No.

**C.C. 1053869873**

Participó en la modalidad de:

**PONENCIA**

En el XI Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación  
**RREDSI Nodo Caldas**

Se firma en Manizales a los 20 días de mayo de 2019

Firma:

Coordinadora RREDSI Nodo Caldas  
Docente Investigadora  
Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO  
Centro Regional Chinchiná - Vicerrectoría Regional Eje Cafetero

