

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS CÓRDOBA

**POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA
SUSTENTABLE**

**ESTABILIDAD DE UNA BEBIDA REFRESCANTE A BASE DE JUGO DE CAÑA DE
AZÚCAR**

LAUREANO GASPERIN GARCÍA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ, MÉXICO

2020

La presente tesis, titulada: **ESTABILIDAD DE UNA BEBIDA REFRESCANTE A BASE DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR**, realizada por el alumno: **Laureano Gasperin García**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

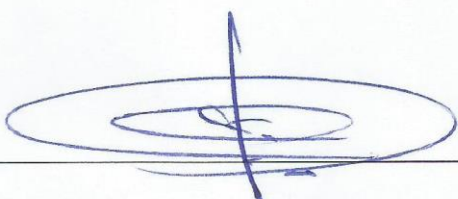
MAESTRO EN CIENCIAS

POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

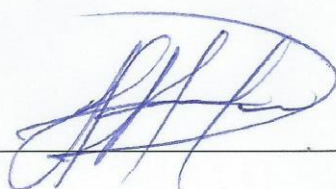
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:  _____

DR. RICARDO HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

ASESOR:  _____

DR. FRANCISCO HERNÁNDEZ ROSAS

ASESOR:  _____

DR. JOSÉ ANDRÉS HERRERA CORREDOR

ASESOR:  _____

DR. ISRAEL ANTONIO GÓMEZ JUÁREZ

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, 2020.

**ESTABILIDAD DE UNA BEBIDA REFRESCANTE A BASE DE JUGO DE
CAÑA DE AZÚCAR
LAUREANO GASPERIN GARCÍA, M.C.
COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 2020.**

En México, la caña de azúcar es utilizada básicamente para la obtención de sacarosa, no obstante, se puede utilizar para la obtención de jugo de caña como bebida refrescante, que actualmente se comercializa en algunos países productores de caña, sin embargo, México es una excepción. Por este motivo, en el presente trabajo se propone la manufactura de jugo de caña como una alternativa de aprovechamiento de la caña de azúcar. Con el objetivo de determinar el efecto del ácido cítrico sobre la estabilidad en atributos de calidad de jugo de caña de azúcar, tallos en verde de la variedad CP 72-2086 fueron exprimidos en un molino de tres masas y el jugo obtenido fue filtrado a través de tela muselina y adicionado con 0, 1, 2 y 3 $g.L^{-1}$ de ácido cítrico. Los tratamientos fueron sometidos a tratamiento térmico a 70 °C por 10 minutos, envasados al vacío y almacenados a 4°C y 28°C. A las muestras de jugo se les evaluó °Brix, pH, color, turbidez y azúcares reductores a los 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 49 días de almacenamiento. Los resultados obtenidos indicaron que el jugo que contenía ácido cítrico almacenado a 4°C presentó una vida de anaquel más larga que el jugo con ácido cítrico almacenado a 28°C, asimismo, el control presentó poca estabilidad en ambas temperaturas de almacenamiento. Los resultados sugieren la adición de 2g L^{-1} de ácido cítrico le confiere mayor estabilidad al jugo de caña almacenado a 28° C.

Palabras clave: Jugo de caña, estabilidad, ácido cítrico, atributos de calidad, almacenamiento.

STABILITY OF A REFRESHING DRINK BASED ON SUGAR CANE JUICE

LAUREANO GASPERIN GARCÍA, M.C.

COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 2020.

In Mexico, sugar cane is essentially used in sucrose production, however it can also be used to obtain sugar cane juice as a refreshing drink, which is currently commercialized sugar cane producers in some countries; however, Mexico is an exception. For this reason, the present work proposes the manufacture of sugar cane juice as an alternative for the sugar cane industry. In order to determine the effect of citric acid on the quality attributes and stability of sugar cane juice, green stalks of the CP 72-2086 sugar cane variety were squeezed using a three-roll mill and the juice obtained was filtered through a muslin cloth and citric acid concentrations of 0, 1, 2, and 3 g/L were added. All samples were heat-treated at 70 °C for 10 minutes and vacuum-packed and stored at 4 °C and 28 °C. The °Brix, pH, color, turbidity, and reducing sugars of the sugar cane juice samples were evaluated at 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42 and 49 days of storage. The results obtained indicated that the juice stored at 4 °C containing citric acid showed a shelf life longer than the juice with citric acid stored at 28 °C. In addition, the sugar cane juice control (without citric acid) showed little stability at either storage temperatures. The results obtained suggest the addition of 2 g / L of citric acid gives greater stability to the sugar cane juice.

Keywords: Sugarcane juice, stability, citric acid, quality attributes, storage.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT-México) le agradezco la beca recibida durante el postgrado 2018-2020 (CVU:706805).

Al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba le agradezco las disposiciones recibidas durante el postgrado para poder llevar a cabo los estudios y experimentos correspondientes; agradezco también a todos los académicos, personal de atención, y personal de servicios, los cuales siempre fueron amables y profesionales.

Al Laboratorio de Biotecnología Microbiana Aplicada (BioMa) le agradezco el apoyo y sugerencias de cada uno de sus miembros para lograr el proyecto de investigación.

Expreso un gran agradecimiento a mi consejero y tutor de tesis Dr. Ricardo Hernández Martínez por su guía, orientación, paciencia, ayuda, consideraciones y colaboración durante el desarrollo de esta investigación y redacción del artículo. Al Dr. Francisco Hernández Rosas le agradezco enormemente por depositar en mí su confianza al incentivar me en la idea inicial del proyecto, por su apoyo, recomendaciones y facilidades recibidas. Al Dr. José Andrés Herrera Corredor le agradezco por su gran disponibilidad y atención para el análisis de datos y orientación para guiar la investigación y al Dr. Israel Antonio Gómez Juárez le agradezco por sus múltiples sugerencias, su gran conocimiento y experiencia compartida durante el desarrollo de la investigación.

A mi familia le agradezco el apoyo y paciencia que han tenido conmigo antes y durante todo el proceso de estudio del postgrado.

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mi familia, por haberme hecho la persona que soy hoy en día; muchos de mis logros se los debo a ustedes, siempre han estado ahí para mí cuando los he necesitado. A mi esposa con todo cariño, por la paciencia, sacrificio y esfuerzo y por creer en mi capacidad, brindándome siempre su apoyo. A mis hijos, por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más.

Gracias a todos.

CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| PORTADA..... | i |
| HOJA DE FIRMAS..... | ii |
| RESUMEN..... | iii |
| ABSTRACT..... | iv |
| AGRADECIMIENTOS..... | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| CONTENIDO..... | vii |
| LISTA DE FIGURAS..... | ix |
| LISTA DE TABLAS..... | x |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 PERSPECTIVAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR..... | 1 |
| 1.2 LA CAÑA DE AZÚCAR EN MÉXICO..... | 2 |
| 1.3 DIVERSIFICACIÓN..... | 3 |
| 1.3.1 JUGO DE CAÑA..... | 5 |
| 1.3.2 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN DE JUGO DE CAÑA..... | 6 |
| 1.3.3 ENVASADO DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR..... | 10 |
| 1.3.4 ATRIBUTOS DE CALIDAD DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR..... | 10 |
| 2. JUSTIFICACIÓN..... | 11 |
| 3. HIPÓTESIS..... | 14 |
| 4. OBJETIVOS..... | 14 |
| 4.1 OBJETIVO GENERAL..... | 14 |
| 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 14 |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 15 |
| 5.1 Selección de materia prima..... | 15 |
| 5.2 Extracción de jugo..... | 15 |
| 5.3 Tratamiento con ácido cítrico..... | 15 |
| 5.4 Diagrama de proceso para producción de Jugo de Caña de Azúcar..... | 16 |

| | |
|---|----|
| 5.5 pH y Sólidos solubles totales (°Brix) | 17 |
| 5.6 Color y Turbidez | 17 |
| 5.7 Determinación de azúcares reductores | 17 |
| 5.8 Pruebas Microbiológicas | 18 |
| 5.9 Análisis Estadístico de Datos | 18 |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 19 |
| 6.1 Sólidos Solubles Totales (°Brix) | 19 |
| 6.2 pH | 20 |
| 6.3 Color | 21 |
| 6.4 Turbidez..... | 22 |
| 6.5 Azúcares Reductores | 23 |
| 6.6 Microbiológicos | 24 |
| 6.7 Resumen estadístico | 25 |
| 7. CONCLUSIONES | 26 |
| 8. REFERENCIAS | 27 |
| 9. ANEXOS | 30 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Molino de tres masas utilizado para extracción de jugo de caña | 15 |
| Figura 2 Diagrama de proceso para producción de jugo de caña de azúcar | 16 |
| Figura 3 Efecto del ácido cítrico sobre los °Brix de las muestras de jugo a través del tiempo | 19 |
| Figura 4 Efecto del ácido cítrico sobre el pH de las muestras de jugo a través del tiempo | 20 |
| Figura 5 Imágenes de muestras de jugos de caña de azúcar por tratamiento | 21 |
| Figura 6 Efecto del ácido cítrico sobre el Color de las muestras de jugo a través del tiempo | 22 |
| Figura 7 Efecto del ácido cítrico sobre la Turbidez de las muestras de jugo a través del tiempo | 23 |
| Figura 8 Efecto del ácido cítrico sobre los Azúcares Reductores en el jugo a través del tiempo | 24 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla1 Información nutrimental de jugo de caña de azúcar..... | 12 |
| Tabla2 Resultados microbiológicos de tratamientos a temperatura ambiente 28°C (UFC/mL)..... | 25 |
| Tabla3 Resultados microbiológicos de tratamientos en refrigeración 4±2°C (UFC/mL)..... | 25 |
| Tabla4 Resultados de la comparación múltiple de medias (μ) por tratamiento por Tukey del diseño experimental por Almacenamiento | 25 |

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es una gramínea de tallo cilíndrico alargado de 2 a 5 m de altura, con 5 o 6 cm de diámetro, dividido en nudos y entrenudos; que difieren o cambian longitud, diámetro, forma o color de acuerdo a las diversas variedades. El tallo se puede considerar un fruto agrícola, ya que en él se contiene y almacena el azúcar (SAGARPA, 2017). Es una planta que pertenece a diferentes especies silvestres y variedades cultivadas de plantas del género “*Saccharum*”; originaria de regiones tropicales de Melanesia (Oceanía). Se desconoce el momento en que el ser humano descubrió en la caña de azúcar su valor alimenticio. Los historiadores refieren a “La India” como el país en donde se comenzó a producir el azúcar desde épocas muy remotas. En un inicio la caña de azúcar se utilizaba para mascar y producir un material sólido llamado “Gur” que es un producto semejante a lo que se conoce como Piloncillo (Sánchez, 1927). La caña de azúcar se ha cultivado en al menos unos 200 países, siendo una parte importante en la matriz energética en los países tropicales y subtropicales, como Brasil, China, India, Tailandia y Australia (Souza *et al.*, 2019).

Considerado uno de los cultivos agroalimentarios más productivos del mundo, la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es actualmente un cultivo que presenta gran potencial para la diversificación debido a la naturaleza química y bioquímica de la materia prima que representa. La caña de azúcar es un cultivo de gran importancia en la provisión de insumos para la industria azucarera y también para la obtención de bioenergía. El valor económico de este cultivo se centra en que es una especie muy productiva, eficiente en el uso de insumos y puede ser procesada de manera local y generar productos con valor agregado (Gómez-Merino *et al.*, 2017).

1.1 PERSPECTIVAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

En perspectiva mundial, se prevé que la producción del cultivo de caña de azúcar aumentará, debido a los rendimientos rentables en comparación con otros cultivos. La caña de azúcar seguirá como cultivo principal para producir azúcar en gran medida en países en desarrollo (África, Asia y América del Sur). Se estima que el porcentaje de azúcar a partir de la remolacha azucarera baje ligeramente, del 14% que tenía en el 2017 a un 12.9% en 2026. Brasil, que es el mayor productor y exportador mundial de azúcar, se fortalecerá en renovaciones de las plantaciones de caña y se anticipa que

aumentarán. Además, con base a la fluctuación de los precios internacionales del petróleo, se espera un mayor crecimiento de la producción de etanol en el futuro (OCDE-FAO 2017).

En el año 2017, la OCDE-FAO señaló que el consumo mundial de azúcar crecerá a una tasa de 1.75% anual, para llegar a 203 millones de toneladas en 2026. Será influenciado por el lento crecimiento económico mundial y la ligera desaceleración del aumento de la población. Los ingresos, la urbanización y el crecimiento de la población urbana han generado un creciente consumo de productos procesados; refrescos y productos ricos en azúcar. Es de esperarse que el nivel promedio mundial de consumo per-cápita aumente de 22.9 kg del 2017 a 24.8 kg al 2026. El efecto del consumo excesivo de azúcar ha ocasionado una creciente preocupación por para la salud de los consumidores, que en algunos países han comenzado a aplicar impuestos a las bebidas azucaradas, con miras a menguar su consumo; aun así, la demanda en los países en desarrollo seguirá aumentando con rapidez, debido al incremento de los ingresos, a los cambios demográficos y al crecimiento de la población, aunque con variaciones considerables entre los países (OCDE-FAO 2017).

1.2 LA CAÑA DE AZÚCAR EN MÉXICO

En el ciclo azucarero 2017/2018, a nivel mundial se produjeron 183 millones de toneladas de azúcar y para el caso de México, su nivel de producción lo llevó a obtener la 9ª posición en el mundo con una producción de 6 millones de toneladas de azúcar (CONADESUCA, 2019b). La materia prima de la industria azucarera en México es la caña de azúcar (*Saccharum Officinarum* L.). La caña de azúcar es identificada como un cultivo básico, cultivada en 22 entidades federativas y es considerado como uno de los 10 cultivos que representan el mayor consumo por familias mexicanas (SAGARPA, 2017).

La caña de azúcar es el primer lugar de cultivos a cielo abierto en México (INEGI 2017) y la zafra (proceso mediante el cual se cosecha la caña y se industrializa) normalmente comienza en el mes de noviembre y finaliza en junio del siguiente año. Dado que es un cultivo cuya siembra, recolección y procesamiento requiere de mucha mano de obra, representa una relevante fuente de empleo (SIAP, 2017). La producción de azúcar a nivel nacional alcanzó una producción de 6,425,919 toneladas de azúcar durante la zafra 2018/19, y Veracruz fue el estado de la república mexicana de mayor producción con 2,496,147 toneladas de azúcar y también con mayor superficie cultivada 332,186

hectáreas de caña de azúcar (CONADESUCA, 2019a). En 2016 en México, las tres variedades de caña de azúcar con mayor distribución a nivel nacional fueron CP 72-2086 con el 36%, MEX 69-290 con el 29% y MEX 79-431 con el 9% respectivamente (CONADESUCA, 2016).

Teniendo en cuenta que la caña de azúcar es un cultivo con gran potencial de diversificación (Gómez-Merino *et al.*, 2017), otro producto, además del azúcar, se puede proponer como una alternativa para su aprovechamiento. Durante el procesamiento de la caña de azúcar se pueden generar una gran diversidad de productos y sub-productos tales como las melazas, sacarosa, bagazo, cachazas, cenizas, vinazas, (Aguilar-Rivera, 2017) y jugo de caña (Ramachandran *et al.*, 2017), el cual se produce y comercializa en algunos países productores de caña, sin embargo, México es una excepción por lo que su producción puede ser una alternativa de diversificación.

1.3 DIVERSIFICACIÓN

Los productos, coproductos y subproductos que se pueden obtener de la caña de azúcar son numerosos, podemos mencionar entre ellos: azúcar (mascabado, estándar, refinada), melazas, etanol (96° G. L. y 99.6° G. L.), piloncillo, aguardiente, miel de trapiche, bagazo, abonos orgánicos, cenizas de calderas y vinazas de destilería, entre otros. Desde el siglo XX, estos productos han sido insumos o materias primas para empresas de alimentos y bebidas, celulosa, papel y compostas, entre otras (Aguilar-Rivera *et al.*, 2017).

Sin embargo, los ingenios azucareros en México se encuentran entre las empresas con mayor tiempo operando en la rama de producción de alimentos y se estima que no se aprovechan los subproductos de manera eficiente. Para el caso particular del etanol de melazas, que normalmente es industrializado como biocombustible en el mundo, en México es un producto que no ha alcanzado un nivel de sostenibilidad y competitividad esperados y tiende a perder rentabilidad (Aguilar-Rivera 2017).

El cultivo de la caña de azúcar y su producción están determinados por la rentabilidad del azúcar como su principal producto. Sin embargo, esto genera un inconveniente, ya que el aumento en la rentabilidad del azúcar hace mucho más atractiva la siembra de caña, entonces se incrementa la

superficie sembrada y se aumenta la producción de azúcar, pero cuando ésta supera a la demanda y los inventarios se incrementan, disminuye el precio del azúcar, afectando su rentabilidad. Si se produce otro derivado de caña de azúcar, por ejemplo, etanol, la caña producida va a ser destinada tanto a la producción de azúcar como de etanol, siendo el inventario y la rentabilidad de los dos productos lo que influiría en la repartición de caña para ambas industrias (Aguilar-Rivera 2017).

En México, cuando se presentan excedentes de la producción de azúcar, se genera fluctuación en los precios de la misma a nivel nacional, esto crea una incertidumbre entre los productores de caña de azúcar en cuanto al pago por su producción de caña de azúcar, lo que ha ocasionado en ocasiones bloqueos de Ingenios y toma de bodegas por los productores (ZAFRANET, 2018; Zamudio, 2019 y Zavaleta, 2013). Además, la agroindustria mexicana de la caña de azúcar se encuentra en un esquema inequitativo por las restricciones que enfrenta México en la exportación de azúcar con Estados Unidos y la entrada al mercado mexicano de fructuosa de maíz a precios de “dumping” (EL ECONOMISTA, 2017).

Es preciso que la agroindustria de la caña de azúcar se centre en desarrollar nuevos productos, acorde a requerimientos y necesidades del consumidor. Diversificar la industria azucarera se debe establecer como una prioridad nacional y este cambio podría enfocarse a la producción de alimentos alternativos, la generación de bioenergía, alimentos y forrajes para ganado, entre otras, con responsabilidad social y perspectiva de desarrollo regional sustentable (Gómez-Merino *et al.*, 2017).

Se percibe una oportunidad para innovar con productos derivados de la caña de azúcar, siendo éste su jugo. Actualmente en México surge la necesidad de disminuir en la población enfermedades relacionadas al consumo en exceso de comida chatarra y bebidas endulzadas artificialmente (PROFECO 2018), abriendo paso a la comercialización de productos naturales y nutritivos como una alternativa a los mismos. Ante éste panorama es importante la diversificación, el jugo de caña de azúcar posee características que la población podría aprovechar de manera nutricional y la industria cañera verse beneficiada económicamente.

La caña de azúcar es un producto abundante en México; por lo que se podría utilizar este recurso para la producción de jugo de caña envasado. El proceso de producción debería incluir cosechar la caña

en verde, BPM's (Buenas Prácticas de Manufactura), bajo costo de materia prima y la aplicación de tecnología de alimentos. Lo anterior mencionado aún no ha sido considerado por la industria alimenticia en México, lo que invita a pensar que es viable proponer un proceso de elaboración de jugo de caña envasado (Aguirre y Poveda 2011).

1.3.1 JUGO DE CAÑA

El jugo de caña de azúcar se obtiene prensando los tallos en verde de la caña de azúcar (sin quema), esto puede ser mediante unos rodillos que presionan los tallos, exprimiéndolos y recogiendo el líquido. El jugo recién exprimido de la caña de azúcar es una bebida refrescante; sin embargo, a medida que pasa el tiempo, el jugo comienza a oscurecerse, adquiriendo un color verde oscuro debido al proceso de oxidación (Yasmin *et al.*, 2010).

El jugo de la caña de azúcar está compuesto por minerales (Ca, Fe, P, Mg, Mn, K y Zn) y ácidos orgánicos además de la sacarosa, es ideal para recargar energía (energético) y puede tener propiedades medicinales (Sankhla *et al.*, 2012). Asimismo, contiene vitaminas (especialmente B6 y C) y los polifenoles que contiene pueden presentar, para quienes lo consumen, actividades biológicas tales como antiinflamatorios, antialérgicos, antioxidantes y cardioprotectores. (Brochier *et al.*, 2016). El jugo de la caña de azúcar contiene azúcar natural, minerales y ácidos orgánicos (Sankhla *et al.*, 2012). Un vaso de jugo de caña de azúcar de 100 ml puede aportar 40 Kcal y 10 mg de hierro (Khare *et al.*, 2012).

Una de las limitantes en la producción de jugo de caña de azúcar envasado es el cambio de apariencia debido al entubamiento, cambio de coloración y pH, hidrólisis de sacarosa, obscurecimiento enzimático debido a la presencia de la polifenol-oxidasa (PPO) y obscurecimiento no enzimático entre otros, impactando las propiedades organolépticas y sobre todo la calidad del jugo (Pandey y Negi, 2018; Eissa *et al.*, 2010; Yasmin *et al.* 2010; Bucheli, 1995). El enturbiamiento y la oxidación de los jugos de frutas resulta por el deterioro químico de estos; el pardeamiento enzimático es un proceso químico que produce un color marrón en frutas y jugos que involucra enzimas como la polifenol oxidasa y otras enzimas que crean melaninas y benzoquinona a partir de fenoles naturales. El pardeamiento no enzimático también es una reacción química perjudicial responsable de los

problemas de calidad de los jugos, este último tipo de pardeamiento en los jugos cítricos es el resultado de reacciones de aminoácidos, azúcares y ácido ascórbico (Pandey y Negi, 2018). El jugo de caña de azúcar se comienza a enturbiar a medida que pasa el tiempo (Yasmin *et al.*, 2010) y esto es explicado por el comportamiento de la enzima polifenol oxidasa presente en el jugo (Bucheli, 1995).

El deterioro en los jugos de fruta puede deberse a tres causas principales: oxidación que conduce a rancidez, pardeamiento y deterioro microbiano. La composición de los jugos de fruta proporciona un ambiente ideal para el deterioro por microorganismos. Se debe tener en cuenta que la mayoría de los posibles agentes de descomposición en los jugos que tienen un $\text{pH} < 4.5$, son microorganismos acidófilos (Pandey y Negi, 2018).

Los microorganismos nativos (bacterias ácido-lácticas) de la caña de azúcar (presentes en el interior y exterior) pueden deteriorar el jugo, ya que, para mantener su actividad metabólica consumen la sacarosa como fuente de carbono y en consecuencia se pueden producir ácidos orgánicos y/o etanol los cuales son indicativos de mala calidad en el jugo (Sankhla *et al.*, 2012). Las bacterias ácido-lácticas son microorganismos involucrados en la fermentación de alimentos, en este grupo están incluidas las bacterias normalmente asociadas con las superficies mucosas (sanas) de humanos y animales. Este tipo de bacterias las comprenden los géneros *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* y *Streptococcus* (Salminen *et al.*, 2005). Por otro lado, existen bacterias patógenas tales como *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* que pueden proliferar en el jugo de caña de azúcar (Rashed *et al.*, 2013 y Ramachandran *et al.*, 2017). Es por lo anterior que se debe de estabilizar y dar un procesamiento al jugo que incluya un tratamiento antimicrobiano.

1.3.2 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN DE JUGO DE CAÑA

Para procesar la caña de azúcar, generalmente primero se lavan los tallos, posteriormente se pasan por un molino de rodillos para exprimir el jugo, el jugo fresco se recolecta en unos contenedores esterilizados, se filtra por tela muselina y recibe procesamiento térmico justo después de la recolección (Yasmin *et al.*, 2010). Existen numerosos métodos de conservación de jugo de caña de azúcar, incluidos métodos químicos, térmicos y no térmicos. Entre las diversas técnicas que existen,

la pasteurización se continúa utilizando ampliamente para preservar el jugo de caña de azúcar (Kaavya *et al.*, 2019).

En el estudio realizado por Chauhan *et al.*, (2002) emplearon diferentes temperaturas como tratamiento térmico: 60°C, 70°C, 80°C y 90°C durante 10 min. Su investigación explica la viabilidad de someter el jugo de caña como mejor tratamiento térmico a 70°C por 10 minutos y usar ácido cítrico en el procesamiento, causando cambios mínimos en las cualidades sensoriales durante el almacenamiento a temperatura ambiente o en refrigeración. En una investigación realizada por Yasmin *et al.*, (2010), el jugo de caña exprimido fue pasteurizado a 90 °C por 5 minutos y el pH del jugo ajustó a 4.30 con ácido cítrico.

En una investigación realizada por Khare *et al.*, (2012), mezclaron jugo de caña de azúcar con limón, jengibre, Meta bi-sulfito de potasio (KMS) a diferentes niveles (150, 175, 200, 225 ppm) y sal con tratamientos térmicos de 60, 75 y 90 °C durante 10 min, envasado en botellas de vidrio pre-esterilizadas y almacenado a temperatura de refrigeración por un período de dos meses mediante extracción de muestras para determinación de cambios en físico-químicos, microbiológicos y sensoriales a intervalos de diez días para evaluar cambios en los parámetros químicos y microbiológicos. Sus resultados reportan que podría lograrse una bebida estable de jugo de caña de azúcar tratada térmicamente a 75 ° C durante 10 minutos después de la adición de 3.0 ml de limón como potenciador del sabor y antioxidante y 1,0 g de sal como compuesto aromatizante, 0,6 ml de jengibre como potenciador del sabor por 100 ml de jugo de caña de azúcar con (KMS) agregado a 225 ppm mostró la mejor actividad antimicrobiana.

En 2012, Sankhla *et al.*, aplicaron un tratamiento térmico de 80 ° C durante 10 min para inactivar la enzima invertasa, se adicionó Ácido cítrico en concentraciones de (0, 0.5, 1 y 1.5g / 1,000 ml) y KMS en (0, 50, 100, 150 y 200 ppm). En este estudio se empleó la radiación como técnica de barrera en tres dosis diferentes, es decir 0.25, 0.5 y 1.0 kGy. Los jugos resultantes se envasaron en botellas de vidrio, botellas de polietileno (PET) y en bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE). Los resultados indicaron que el tratamiento térmico a 80 ° C durante 10 min, junto con KMS a 150 ppm y ácido cítrico al 0.05% con dosis de irradiación de 1,0 kGy, envasado en vidrio o en PET fue el mejor hasta el final del período de almacenamiento (60 días a Tempertura Ambiente y 9 días en refrigeración).

En un artículo publicado por Sangeeta *et al.*, (2013); se combinó jugo de caña de azúcar con jugo de anola. Para poder procesar los tallos de caña de azúcar, estos fueron seleccionados en verde, saludables y libres de deterioro visible, fueron lavados, parcialmente pelados y sometidos a escaldado durante 10-15 minutos para la inactivación por calor de las enzimas y luego se sumergieron en agua que contenía 0.1% en peso KMS y 0,01% en peso de solución de ácido cítrico durante 4 horas para dar un color agradable al jugo de caña de azúcar. Pasado el tiempo se extrajo el jugo utilizando un molino de rodillos y luego se filtró con tela de muselina. La fruta de anola fue correctamente lavada, pesada y blanqueada a 100 °C durante 5 minutos antes de la extracción con un extractor de jugos; después se tamizó y se agregó al jugo de caña. Las mezclas seleccionadas se mantuvieron durante la noche a una temperatura de 5-10 °C para la sedimentación. Después se decantaron las mezclas de sedimentos durante 24 horas y el sobrenadante se filtró a través de una tela de muselina. Las mezclas recibieron un tratamiento térmico de 75 °C por 10 min. El jugo de caña de azúcar con y sin jugo de anola fueron analizados para diferentes parámetros: evaluación fisicoquímica, microbiana y sensorial en un intervalo de 10 días. Los resultados indicaron que una bebida estable de buena calidad de jugo de caña de azúcar se puede lograr a partir de jugo de caña de azúcar tratado térmicamente a 75 °C durante 10 minutos después de la adición de 5% jugo de anola a 20 días a temperatura ambiente y hasta 50 días en refrigeración.

Por otro lado, Kunitake *et al.*, (2014), prepararon jugo de caña de azúcar con pulpa de maracuyá. Inicialmente, después de cortar, lavar y raspar los tallos de caña de azúcar, los sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) que contenía 30 mg. L^{-1} de cloro residual libre durante 20 min a una temperatura de alrededor de 25°C. Extrajeron el jugo de caña de los tallos y agregaron 4% de pulpa de fruta de maracuyá al jugo extraído inmediatamente después de la extracción, con la intención de reducir el pH del jugo e inhibir la actividad de la enzima PPO, obteniendo así un jugo acidificado de caña de azúcar con un pH de alrededor de 4.0. El jugo acidificado fue procesado térmicamente en un intercambiador de calor de placas a 85, 90 y 95 °C durante 30 segundos, fue filtrado, enfriado a aproximadamente 8 °C y bombeado a un tanque amortiguador aislado; para finalmente ser llenado asépticamente en botellas de PET de 320 ml transparentes, que fueron descontaminados previamente. Las muestras de jugo procesado de caña de azúcar, fueron mantenidas en almacenamiento a 7°C durante unos 60 días, fueron sometidos a pruebas fisicoquímicas, determinación de actividades PPO y POD, coliformes y análisis de *Salmonella* solo una vez después

del procesamiento. La medición de parámetros de color y análisis sensorial para estimar la estabilidad del producto se realizaron mensualmente.

La inactivación completa de la PPO en el jugo de caña de azúcar acidificado requirió una temperatura de procesamiento de 95 °C durante 30 segundos. Sin embargo, los tres tratamientos térmicos (85°, 90° y 95 ° C durante 30 s) inactivaron la PPO. Los bajos conteos de coliformes y la ausencia de *Salmonella* probaron la seguridad del producto final. Todos los lotes de jugo procesado de caña de azúcar presentaron una alta aceptación sensorial, particularmente en el período inicial de las pruebas de estabilidad. La temperatura de pasteurización afectó en gran medida a la estabilidad sensorial, con respecto a la apariencia, el aroma, el sabor y la calificación general; una mayor estabilidad y ganancia en la vida útil del producto se logró con un aumento en la temperatura de procesamiento.

En un análisis propuesto por Ramachandran *et al.*, (2017), el jugo de caña de azúcar fue adquirido con vendedores ambulantes en la India. Los jugos fueron transportados en envases estériles con rosca y se procesaron en un tiempo no mayor a los 30 min de obtenerlos. Los jugos de caña fueron mezclados con extractos de semilla de moringa y hoja (*Moringa oleifera*); limón (*Citrus limon*) y jengibre (*Zingiber officinale*), Benzoato de sodio y Metabisulfito de sodio a 0.1% y 0.5% respectivamente. Las muestras de jugo que recibieron tratamiento térmico fueron sometidas a 72 °C durante 15 segundos y todas las muestras se envasaron en botellas de vidrio pre-esterilizadas. Las muestras de jugo frescas y pasteurizadas, con y sin los extractos y conservantes, fueron almacenados en refrigeración a 2-6°C y a temperatura ambiente 30°C durante 10 días. Las muestras de jugo fueron analizadas en un intervalo de 2 días para pH, contenido de azúcar, recuento bacteriano total y atributos sensoriales. Se reveló que el jugo de caña de azúcar de buena calidad (100 ml) con una estabilidad de almacenamiento satisfactoria en refrigeración podría prepararse a partir del jugo tratado térmicamente (72 °C durante 15 segundos) antes de la adición de limón (3 ml) como una combinación de sabor, potenciador del color y fuente de ácido cítrico (antioxidante); moringa (10 ml) y jengibre (0,6 ml) almacenado en refrigeración por 8 días.

El ácido cítrico se considera como un aditivo a jugos y se emplea con intención de regular el pH, proporcionar un efecto bactericida y antifúngico y tiene también la cualidad de aportar un sabor ácido (Aguirre y Poveda 2011). Para el presente análisis, se tomará como tratamiento térmico la propuesta de 70°C durante 10 min Chauhan *et al.*, (2002), ya que el estudio mencionado ha sido mayormente tomado como base para investigaciones referentes al procesamiento del jugo de caña de azúcar.

1.3.3 ENVASADO DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR

Los jugos se pueden someter a procesos de conservación por esterilización comercial; generalmente las frutas o jugos pueden ser procesados de esta manera. Los jugos cítricos son productos ácidos y en relación al microorganismo *Clostridium botulinum* son altamente seguros, pues esta bacteria no encuentra a ese nivel de acidez las condiciones adecuadas para producir una toxina (botulínica) que es altamente dañina y mortal en el ser humano. (Paltienieri y Figuerola 1998).

Un proceso de conservación es el agotamiento térmico o llenado en caliente; este proceso consiste en calentar el contenido del recipiente a una temperatura entre 85 y 90 °C antes de proceder al cerrado. El vacío se produce con la contracción de los contenidos y la condensación del vapor de agua después del sellado y enfriamiento. El agotado térmico es el que se adapta mejor para productos que se calientan rápidamente (jugos, jarabes o salmueras), pero no es adecuado para alimentos sólidos o alimentos que transfieren el calor por conducción (Bosquez, 2010).

1.3.4 ATRIBUTOS DE CALIDAD DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR

En general, los análisis de las bebidas refrescantes deben incluir °Brix (Determinación de Sólidos Solubles Totales), el pH, azúcares reductores; así como diversas características físicas como el índice de refracción (Turbidez) y el color (Kirk *et al.*, 1996). Los parámetros anteriores son importantes para la estandarización de los productos alimenticios y para poder analizar los cambios durante el almacenamiento (Dantas *et al.*, 2010).

En la industria azucarera en México, uno de los parámetros de análisis para jugo de caña, además del pH y °Brix, es la determinación de azúcares reductores; este se efectúa mediante el método propuesto por Lane y Eynon en 1923, indicado en la NMX-F-277-1991; el cual consta en utilizar reactivos de Feheling para reducir los iones cúpricos (Cu²) por medio de los azúcares reductores. El método de azúcares reductores por DNS propuesto por Miller (1959) es una técnica que ocupa 3,5-ácido dinitrosalicílico para hidrolizar polisacáridos de una muestra solución, seguido de la determinación de la absorbancia por medio de un espectrofotómetro. La anterior técnica se propone para analizar las muestras de jugo de caña; ya que su principal conveniencia es su alta sensibilidad.

2. JUSTIFICACIÓN

En México, la industria azucarera es históricamente una de las más importantes, debido a su relevancia económica y social en el campo. La agroindustria nacional de la caña de azúcar es una actividad que genera empleo, tanto en forma directa como indirecta. Sus actividades productivas se desarrollan en 22 entidades federativas (SAGARPA 2017). Debido a que en Veracruz se concentra gran parte del territorio destinado a la siembra y cosecha de caña de azúcar, es representativo su impacto en el empleo e ingresos de su población (CONADESUCA 2019a).

La población en México reportó un consumo per cápita promedio al año de 36.7 kg de azúcar (SAGARPA, 2017), y de acuerdo a estimaciones de la población en el año 2019; la población en México era de alrededor de 126 millones de habitantes (CONAPO 2019). Considerando las proyecciones para 2019 se tuvo un consumo nacional total aparente de 4.62 millones de toneladas de azúcar; si se considera la producción nacional reportada de 6.42 millones de toneladas de azúcar durante la zafra 2018/19 (CONADESUCA, 2019a) y se tiene en cuenta que de acuerdo con EL ECONOMISTA (2019), México exportó 0.85 millones de toneladas de azúcar en el mismo año; la estimación arroja un dato final de 0.95 millones de toneladas de azúcar como excedente (un 14.8% de la producción total nacional 2019). Por lo tanto, se puede proponer que una parte de la caña de azúcar utilizada en la producción de sacarosa excedente puede ser aprovechada para la producción de jugo de caña como bebida refrescante, con lo cual, además de ser aprovechada, se podría resolver los problemas en las fluctuaciones de los precios de la caña.

El jugo de caña de azúcar es una bebida refrescante que se encuentra disponible en algunos países productores de caña de azúcar. Es un producto vital en el mercado global, ya que puede brindar enormes beneficios para la salud y hoy en día se puede considerar que compite con otras bebidas en el mercado orientado al consumidor que se preocupa por la salud, además de que los productores de caña de azúcar pueden verse beneficiados económicamente (Kaavya *et al.*, 2019).

Los jugos y las bebidas que pueden brindar beneficios para la salud más allá de la nutrición básica, son productos populares en el mercado y se pueden encontrar en una gran variedad, ya sea en presentaciones como bebidas a base de frutas y verduras, jugos, aguas embotelladas mejoradas,

bebidas energizantes; entre otras (Zhao 2012). El jugo de caña de azúcar se puede considerar un producto nutritivo que contiene azúcares naturales, minerales y ácidos orgánicos, además de que se le pueden atribuir propiedades medicinales (Yasmin *et al.*, 2010).

Tabla1. Información nutrimental de jugo de caña de azúcar

| INFORMACIÓN NUTRIMENTAL | | |
|--|----------|----------------------|
| Jugo de Caña (100ml) + Ácido cítrico 0.01% | | |
| | | % Diario recomendado |
| Calorías | 49.34 | |
| Grasas totales | 0.00g | 0.0% |
| Grasas Saturadas | 0.00g | |
| Grasas Trans | 0.00g | |
| Colesterol | 0.00mg | 0.0% |
| Sodio | 0.00mg | 0.0% |
| Potasio | 156.00mg | 4.7% |
| Carbohidratos Totales | 11.67g | 4.0% |
| Fibra alimentaria | 0 | |
| Azúcares | 8.67g | |
| Proteínas | 0.00g | |
| Calcio | | 1.0% |
| Hierro | | 1.0% |
| Vitamina B1 | | 3.3% |
| Magnesio | | 3.0% |

*Sugarcane Island 2016

De acuerdo a EL UNIVERSAL (2017), México ostentaba el primer lugar mundial en consumo de refrescos y bebidas azucaradas, el mexicano promedio consumía alrededor de 163 litros de refresco al año, equivalente a comer 9 cucharadas de azúcar al día, esto se traduce en un alto factor de riesgo para su salud, siendo causa de sobrepeso, obesidad, diabetes y otras enfermedades crónicas. El jugo de caña de azúcar tiene un bajo índice glucémico; por lo que es un buen sustituto de refrescos y bebidas gaseosas (Khare *et al.*, 2012), personas con diabetes podrían consumirlo moderadamente.

En otros países se comercializa el jugo de caña de azúcar, sin embargo, en México no es así, por lo que se detecta una oportunidad como alternativa de diversificación agroalimentaria para el aprovechamiento de la producción de caña de azúcar, ya que la caña de azúcar es el cultivo principal

en México. El objetivo principal del presente trabajo por consiguiente es diseñar un procedimiento para obtener jugo de caña de una variedad local y mantenerlo en anaquel por días, semanas o meses y que no pierda sus propiedades organolépticas semejantes a las presentes en el momento de extracción del jugo. Con el desarrollo del presente proyecto se espera obtener una bebida estable a base del jugo de caña de azúcar que cumpla con las características necesarias para poder ser comercializado.

Un beneficio adicional se logra en el tema ambiental; puesto que la cosecha de la caña de azúcar en México se efectúa mayormente (90%) por quema (Salgado-García *et al.* 2014). Existen problemas de carácter ambiental tales como la contaminación del suelo, aire y agua generados por la quema de la caña durante la cosecha (Ortiz-Laurel *et al.*, 2012).; para producir jugo de caña como bebida refrescante, la caña de azúcar deberá ser cosechada en verde, lo que ayudaría a evitar la quema.

3. HIPÓTESIS

- El procesamiento tallos de caña de azúcar en verde para la obtención de jugo y su tratamiento con ácido cítrico y envasado al vacío, pueden ser una opción para alargar la vida de anaquel de jugo de caña de azúcar y en consecuencia puede ser un procesamiento adecuado para ser propuesto para la diversificación de la agroindustria azucarera.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer un proceso para la producción de una bebida refrescante a base de jugo de caña de azúcar adicionado con ácido cítrico, que muestre estabilidad en sus atributos de calidad y que pueda mantenerse en anaquel por días o semanas.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto la concentración de ácido cítrico sobre °Brix, pH, Color, Turbidez y Azúcares Reductores del jugo de caña de azúcar a través del tiempo en refrigeración y a temperatura ambiente.
- Determinar la vida de anaquel del jugo de caña de azúcar sujeto a diferentes concentraciones de ácido cítrico en refrigeración y a temperatura ambiente.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Selección de materia prima

La materia prima se obtuvo cosechando tallos de caña de azúcar de la variedad CP 72-2086 de una parcela del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba (18°51'38.4"N 96°51'44.3"W) con una edad fisiológica de 10 meses; los tallos de caña de azúcar frescos fueron lavados con agua del grifo para la posterior extracción de jugo.

5.2 Extracción de jugo

Para la extracción del jugo, los tallos de caña de azúcar fueron prensados en un molino de tres masas (**Figura 1**). El jugo de caña fue recolectado y posteriormente se filtró a través de tela muselina (Mao *et al.*, 2007) y mantenidos en frascos de vidrio previamente esterilizados.



Figura 1. Molino de tres masas utilizado para extracción de jugo de caña.

5.3 Tratamiento con ácido cítrico

Con el objetivo de determinar el efecto del ácido cítrico sobre la estabilidad del jugo de caña de azúcar; fueron evaluados cuatro tratamientos: tres concentraciones de ácido cítrico: 1, 2 y 3 g L⁻¹ (p/v) (identificados como T1, T2 y T3) y un control (0 g L⁻¹, identificado como T0); se consideró 3 gramos L⁻¹ como máximo de concentración de ácido cítrico con base en el CODEX STAN 192-1995. Todas las muestras recibieron un tratamiento térmico a 70 °C durante 10 min (Chauhan *et al.*, 2002) después

de la adición del ácido cítrico. Las muestras fueron envasadas en frascos de vidrio de 20 mL (previamente esterilizados) y fueron cerradas al vacío herméticamente aplicando agotamiento térmico. Todas las muestras fueron almacenadas a 4 °C y 28 °C y fueron evaluadas por triplicado a los 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 49 días.

5.4 Diagrama de proceso para producción de Jugo de Caña de Azúcar.

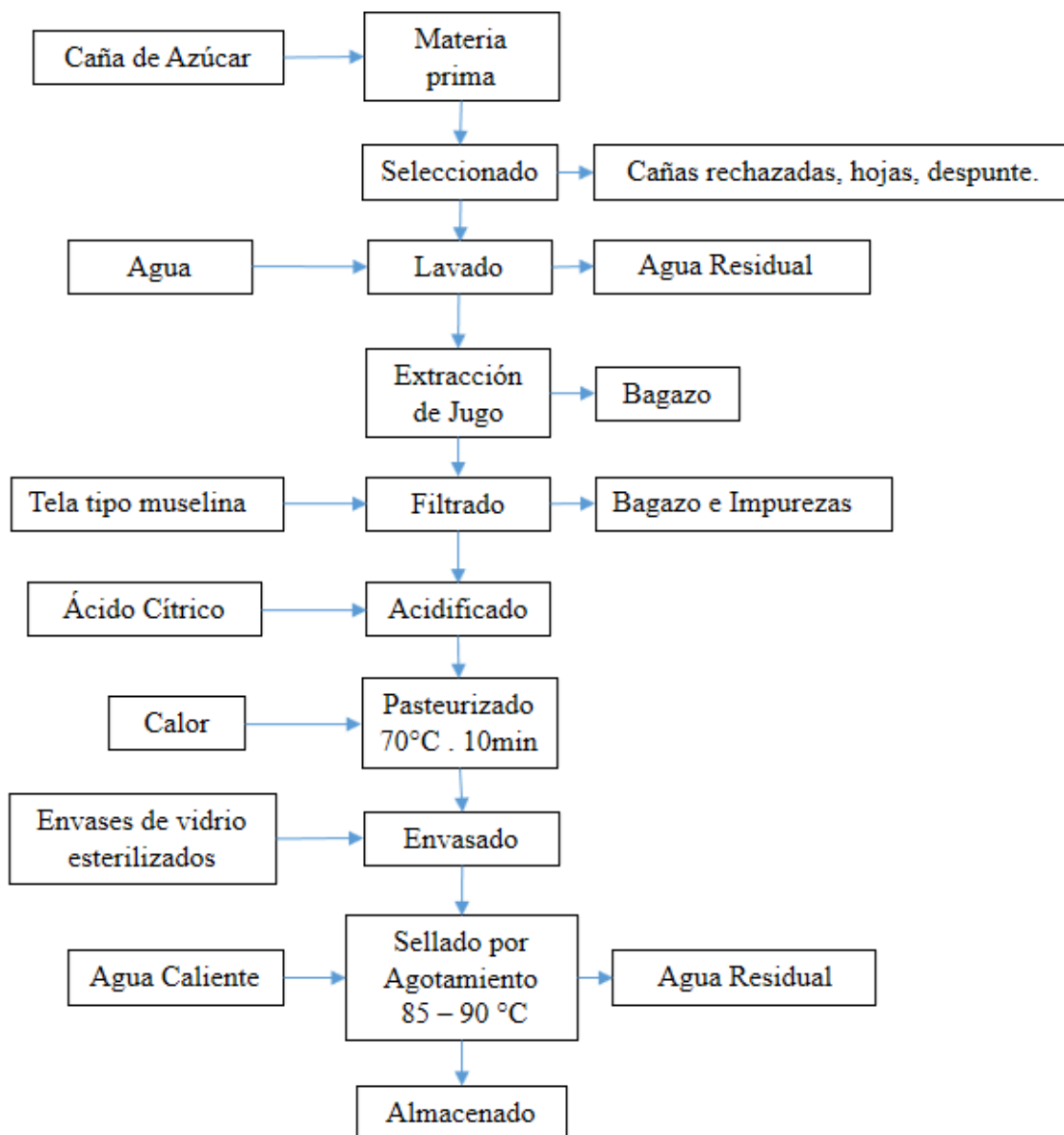


Figura 2. Diagrama de proceso para producción de jugo de caña de azúcar (Elaboración propia)

5.5 pH y Sólidos solubles totales (°Brix)

Para la determinación de pH y Sólidos solubles totales (°Brix), las muestras de jugo de caña fueron filtradas a través de papel filtro Whatman No. 1. El pH de las muestras se midió utilizando un potenciómetro pH tester H198107 HANNA Instruments®, mientras que para los ° Brix se utilizó un refractómetro N1 ANTAGO®; ambas mediciones se realizaron con base a la metodología FSSAI 2015.

5.6 Color y Turbidez

La determinación de color y turbidez se realizó de acuerdo al método descrito por Laksameethanasana *et al.*, (2012). Para la determinación de color se midió la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 420 nm, mientras que para turbidez se determinó a 900 nm en un equipo Genesys 10UV Scanning Thermo Scientific®.

5.7 Determinación de azúcares reductores

La determinación de azúcares reductores se realizó mediante el método del ácido 3, 5 dinitrosalicílico (DNS) reportado por Hu *et al.* en 2008 con algunas modificaciones. Para realizar la cuantificación de azúcares reductores, las muestras fueron filtradas a través de papel filtro Whatman no. 1. El ensayo se inició mezclando 1 mL de muestra de jugo con 1.5 mL de reactivo DNS, la mezcla se mantuvo en un baño maría en ebullición por 15 minutos (Miller 1959). Concluida la reacción, las muestras se aforaron a 10 ml con agua destilada. La absorbancia de las muestras fue medida a una longitud de onda de 540 nm en un equipo Genesys 10UV Scanning Thermo Scientific®. Los resultados de azúcares reductores en las muestras fueron determinados mediante una interpolación contra una curva patrón (estándar) de glucosa (**Anexo 1**) (Mao *et al.*, 2007).

5.8 Pruebas Microbiológicas

Se realizaron pruebas microbiológicas estándar con el objetivo de determinar la presencia de microorganismos patógenos en el jugo de caña de azúcar. La recuperación de las colonias fue realizada adicionando 100 mL de jugo de caña en 900 mL de agua peptonada estéril, las muestras fueron incubadas a 37°C por 12 horas (Pérez *et al.*, 2008). Transcurrido el tiempo de incubación, las muestras fueron diluidas (10^{-1}) y sembradas por triplicado en placas con agar nutritivo, Eosina azul de metileno, agar salmonella-shigella y para la determinar la presencia de hongos en agar papa dextrosa, las placas fueron mantenidas a 37° C por 24 horas (excepto para hongos). Los resultados se reportan de acuerdo al número de unidades formadoras de colonias (UFC) presentes en los cultivos AN y serán expresadas en UFC/mL (Rashed *et al.*, 2013).

5.9 Análisis Estadístico de Datos

Para analizar los datos obtenidos del presente experimento, se propone utilizar un diseño factorial 4x2x8 con tres repeticiones, así: tipo de tratamiento con cuatro niveles: T0, T1, T2 y T3, almacenamiento con dos niveles: A1 temperatura ambiente y A2 refrigeración y las evaluaciones en el día 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 49. para cada variable (°Brix, pH, Color, Turbidez y Azúcares Reductores) con un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

$$y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \epsilon_{ijkl},$$

$i = 1, 2, \dots a$ número de niveles del factor A (*Tratamientos*).

$j = 1, 2, \dots b$ número de niveles del factor B (*Almacenamiento*).

$k = 1, 2, \dots c$ número de niveles del factor C (*Evaluaciones*).

$l = 1, 2, \dots r$ número de repeticiones de cada combinación posible

y_{ijkl} valor de la variable respuesta correspondiente a la repetición l del nivel i de A, nivel j de B y nivel k de C.

μ = media general,

A_i = efecto del nivel i de A,

B_j = efecto del nivel j de B,

C_k = efecto del nivel k de C,

AB_{ij} = interacción A*B, correspondiente al nivel i de A y nivel j de B,

AC_{ik} = interacción A*C, correspondiente al nivel i de A y nivel k de C,

BC_{jk} = interacción B*C, correspondiente al nivel j de B y nivel k de C,

ABC_{ijk} = interacción A*B*C, correspondiente al nivel i de A, nivel j de B y nivel k de C,

ϵ_{ijkl} = error experimental correspondiente a la repetición l del nivel i de A, nivel j de B y nivel k de C; debe cumplirse que $\epsilon_{ijkl} \sim \text{NIID}(0, \sigma^2)$.

Las medias de los tratamientos por almacenamiento se compararán por Tukey por variable respuesta. Los datos serán analizados mediante el software R y Excel (Microsoft® Office).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Sólidos Solubles Totales (°Brix)

El jugo caña de azúcar natural tuvo una lectura inicial de 19 °Brix. El análisis de los resultados indicó que los °Brix del jugo de caña en los tratamientos con ácido cítrico, tanto para las muestras almacenadas a 4 °C y 28 °C, presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha = 0.05$). En **Figura 3A** se puede observar que la tendencia de las mediciones a lo largo de 49 días de las muestras almacenadas a 4 °C fue estable para los valores de °Brix en todas las mediciones (± 0.2 para cada tratamiento) de todos los tratamientos; siendo las mediciones más altas para T1 y las más bajas para T3, es importante mencionar que T0 y T2 tuvieron un comportamiento similar a lo largo del tiempo. Por otro lado, en **Figura 3B** se puede observar la tendencia de las mediciones a lo largo de 49 días de las muestras almacenadas a 28 °C mostraron estabilidad únicamente para T3, mientras que T2 fue estable después de 35 días de almacenamiento para posteriormente mostrar una tendencia ascendente. En contraste, T0 y T1 fueron inestables después de 7 días y posteriormente ya no fue posible determinar los °Brix. Los resultados obtenidos son comparables con lo reportado por Chauhan *et al.*, (2002); quienes reportaron que los grados °Brix de jugo de caña se mantuvieron estables por 90 días a temperatura ambiente (30 ± 5 °C), sin embargo, es importante aclarar que dichos autores además de adicionar ácido cítrico al jugo también adicionaron ácido ascórbico y meta sulfito de sodio. Asimismo, Yasmin *et al.*, (2010) reportaron que después de 120 días a temperatura ambiente de almacenamiento los °Brix del jugo fueron estables, pero lo que controlaron fue el pH del jugo ajustado a 4.3 con ácido cítrico, de la misma manera, Sangeeta *et al.*, (2013) reportaron estabilidad para jugo de caña natural en un periodo de 10 días a 27-28°C y 20 días para un almacenado a 5°C.

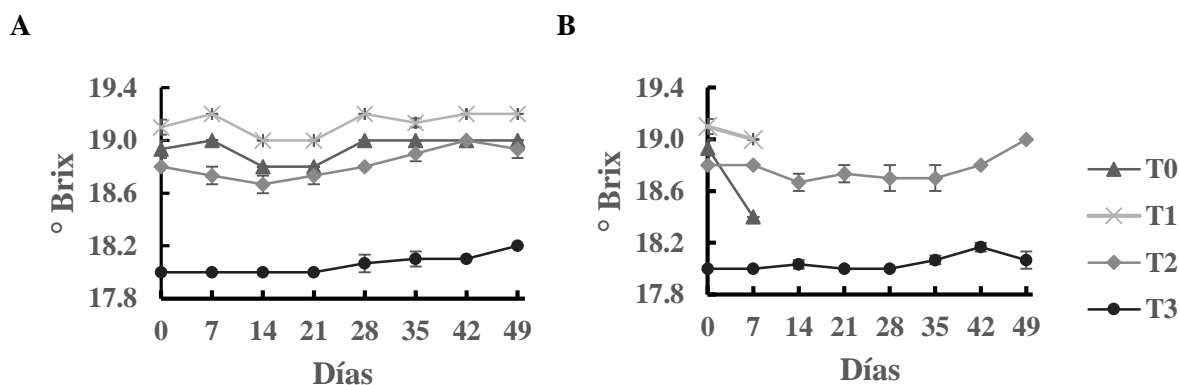


Figura 3. Efecto del ácido cítrico sobre los °Brix de las muestras de jugo de caña a través del tiempo en A 4 °C y B 28 °C. Las concentraciones de las muestras analizadas correspondieron a 0, 1, 2 y 3 g/L de ácido cítrico (T0, T1, T2 y T3 respectivamente).

6.2 pH

Los resultados de las mediciones de pH indicaron que el jugo de caña natural tuvo un pH inicial de 5.7 antes del tratamiento térmico, mientras que después de este, se mantuvo en un valor de 5.37. En los resultados que se muestran en la **Figura 4A** se puede apreciar que las muestras almacenadas a 4 °C al aumentar la concentración de ácido cítrico los valores de pH fueron más ácidos (tiempo cero), siendo 5.37 para T0, 4.4 para T1, 4.03 para T2 y 3.83 para T3, además todos con diferencias significativas ($\alpha=0.05$). Asimismo, como se puede observar en la Figura 2A todas las muestras presentaron valores de pH estables durante 49 días, los tratamientos T2 y T3 fueron los más estables.

Por otro lado, los tratamientos T0 y T1 almacenados a 28 °C (**Figura 4B**) mostraron variaciones de pH, después de 7 días ya no fueron monitoreadas debido a que presentaron descomposición. Solo los tratamientos T2 y T3 se mantuvieron con ligeras variaciones en el tiempo. Los resultados obtenidos en el presente trabajo son más estables que los reportados por Chauhan *et al.*, (2002), quienes reportaron una disminución de pH de 4.95 a 3.82 (variación de 1.13 unidades de pH) después de 45 días de almacenamiento en temperatura ambiente (30 ± 5 °C) y de 4.96 a 4.24 (variación de 0.72 unidades de pH) en jugos almacenado en refrigeración, ambos tratados con 0.4 g/L de ácido cítrico y de igual manera, Sangeeta *et al.*, (2013) observaron una variación de pH de 4.79 a 3.7 (variación de 1.09 unidades de pH) en un periodo de 20 días a 5-7°C y de 4.79 a 3.78 (variación de 1.01 unidades de pH) para un periodo de 10 días a 27-28°C, en la presente investigación los valores de pH variaron máximo 0.2 unidades durante el almacenamiento a 4°C. Asimismo, los resultados son comparables con lo reportado por Yasmin *et al.*, (2010) quienes indicaron que el pH del jugo disminuyó de 4.3 a 4.05 (variación de 0.25 unidades de pH) después de 120 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

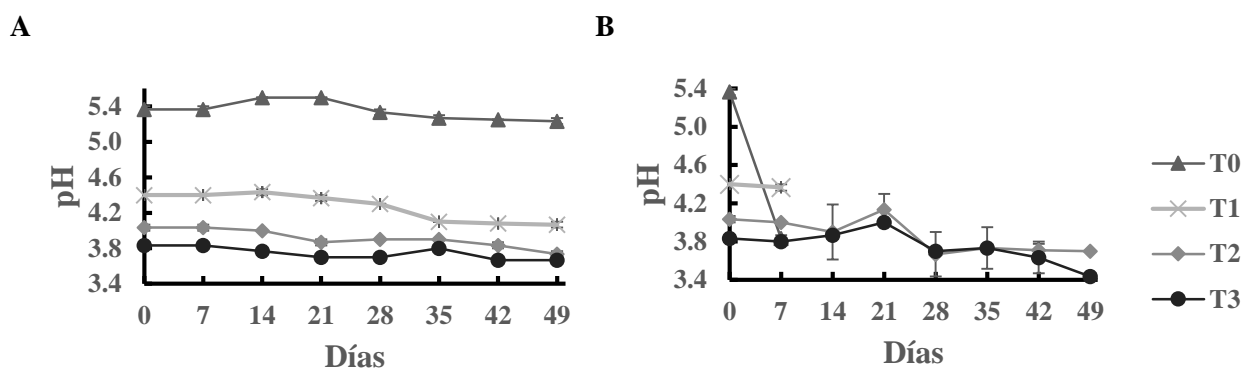


Figura 4. Efecto del ácido cítrico sobre el pH de las muestras de jugo de caña a través del tiempo en A $4\pm 2^\circ\text{C}$ y B $28\pm 2^\circ\text{C}$. Las concentraciones de las muestras analizadas correspondieron a 0, 1, 2, 3 g/L de ácido cítrico (T0, T1, T2 y T3 respectivamente).

6.3 Color

La **Figura 5** muestra el color de los jugos de caña por tratamiento justo después de recibir el tratamiento térmico. Los resultados de color a través del tiempo de almacenamiento se pueden observar en la **Figura 6A**, indican que las muestras de jugo de caña T1, T2 y T3 almacenados a 4 °C mantuvieron su color estable durante 49 días mientras que T0 mantuvo una tendencia de inestabilidad, dichos resultados demuestran que el ácido cítrico es muy importante para mantener estable el color a esta temperatura, asimismo, se puede observar que también tiene un efecto de aclaramiento directamente proporcional al contenido de ácido cítrico, es decir a mayor contenido de ácido cítrico se tuvo un jugo más claro (con una ABS menor a 420 nm). Dichos resultados son similares a los reportados por Laksameethanasana *et al.*, 2012 y Mao *et al.*, (2007) pero en presencia de ácido ascórbico. Los resultados aquí presentados demuestran que el ácido cítrico evita el oscurecimiento del jugo en almacenamiento a 4 °C. Sin embargo, como se puede apreciar en la **Figura 6B** a una temperatura de almacenamiento de 28 °C las muestras T0 y T1 se descompusieron a los 7 días y T2 y T3 no presentaron estabilidad durante los 49 días de almacenamiento. Los resultados del presente trabajo demuestran que el ácido cítrico evita el oscurecimiento del jugo manteniendo estable su color para muestras almacenadas a 4 °C.



Figura 5. Imágenes de muestras de jugos de caña de azúcar por tratamiento.

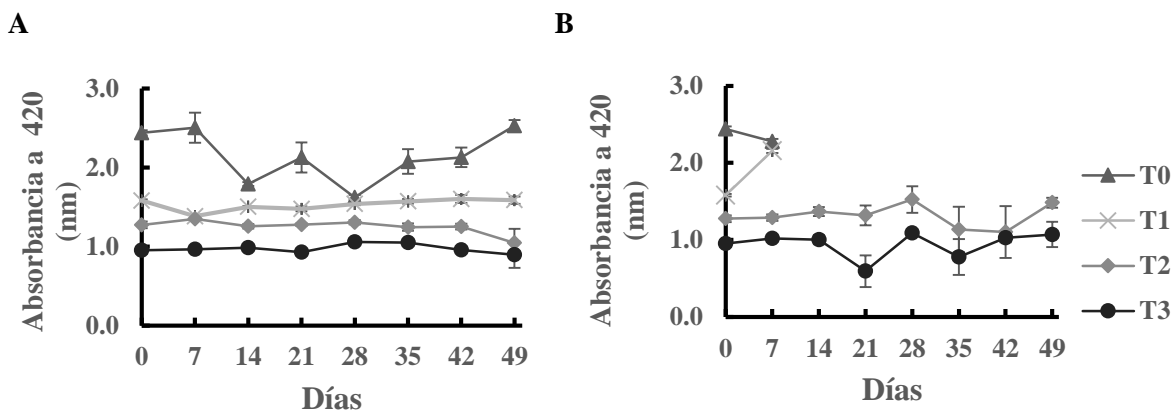


Figura 6. Efecto del ácido cítrico sobre el Color a 420 nm de longitud de onda, de las muestras de jugo de caña a través del tiempo en A $4\pm 2^\circ\text{C}$ y B $28\pm 2^\circ\text{C}$. Las concentraciones de las muestras analizadas correspondieron a 0, 1, 2, 3 g/L de ácido cítrico (T0, T1, T2 y T3 respectivamente).

6.4 Turbidez

Los resultados de turbidez que se presentan en la **Figura 7A** indican que las muestras de jugo de caña T1, T2 y T3 almacenados a 4°C mantuvieron una lectura de turbidez estable durante 49 días mientras que T0 mantuvo una tendencia de inestabilidad. Para las muestras de jugo de caña almacenados a 28°C (**Figura 7B**), las muestras T0 y T1 incrementaron en turbidez del día 0 al 7 debido al deterioro que presentaron las mismas y que las muestras T2 y T3 mantuvieron su tendencia estable durante 49 días. En ambos almacenamientos, el ácido cítrico favoreció a mantener estable la turbidez. En un estudio realizado por Mao *et al.*, (2007) observaron que el obscurecimiento del jugo control se volvió más claro al paso de un par de días y posteriormente al sexto día el aumento de obscurecimiento fue debido la sedimentación de compuestos marrones. Tanto como en los resultados obtenidos en absorbancias para color como turbidez, el ácido cítrico contribuyó a aclarar las muestras de jugo de caña y a disminuir la absorbancia.

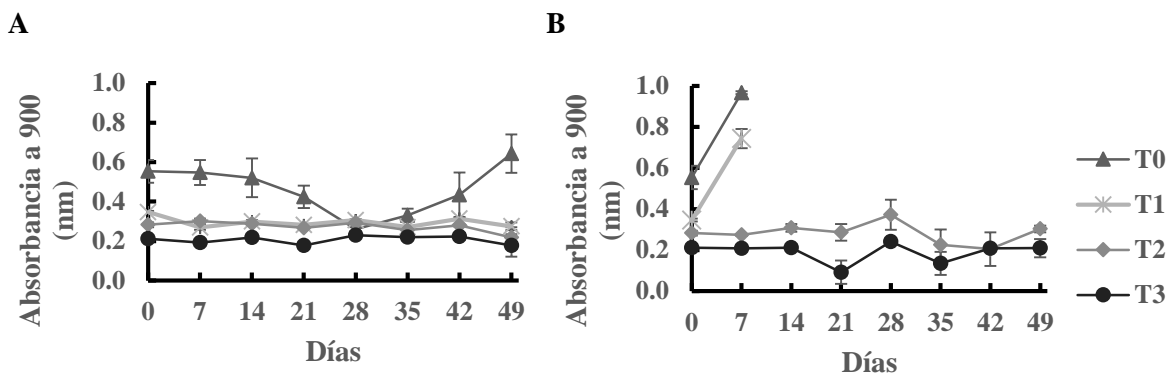


Figura 7. Efecto del ácido cítrico sobre la turbidez a 900nm de longitud de onda de las muestras de jugo de caña a través del tiempo en A $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ y B $28\pm 2^{\circ}\text{C}$. Las concentraciones de las muestras analizadas correspondieron a 0, 1, 2, 3 g/L de ácido cítrico (T1, T2, T3 y T4 respectivamente).

6.5 Azúcares Reductores

Los resultados obtenidos de las mediciones de azúcares reductores (**Figura 8A**) muestran que las muestras T1 y T2 de jugo de caña almacenadas a 4°C presentaron estabilidad y el menor contenido de azúcares reductores (en promedio: $T1=5.82\pm 0.87\text{ gL}^{-1}$ y $T2=4.94\pm 0.83\text{ gL}^{-1}$), en contraste T0 y T3 presentaron una tendencia inestable y ascendente, con la mayor concentración promedio de azúcares reductores ($T0=8.52\pm 1.0\text{ gL}^{-1}$ y $T3=11.23\pm 1.35\text{ gL}^{-1}$). Por otro lado, el análisis de datos ANOVA demostró que el contenido de azúcares reductores fue significativamente diferente para todos los tratamientos ($\alpha=0.05$). Asimismo, en la **Figura 8B** se puede observar que a 28°C en único tratamiento que se mantuvo estable por 49 días fue T2, mientras que T3 fue estable por 35 días, en contraste T0 y T1 fueron inestables desde el día 7. Los resultados obtenidos a 4°C por T1 y T2 son comparables que los observados por Chauhan *et al.*, (2002) quienes encontraron aumento de azúcares reductores de 0.51% a 0.89% en 45 días y en el presente trabajo el porcentaje de azúcares reductores se mantuvo en promedio en 0.58 y 0.49% durante 49 días de almacenamiento a 4°C para T1 y T2, respectivamente. Por otro lado, a 28°C T2 mantuvo un porcentaje de azúcares reductores (1.5%) mayor que el reportado por Chauhan *et al.*, (2002), mientras que T3 mantuvo un 1.55% pero solo durante 35 días.

Es importante señalar que el aumento de azúcares reductores en el jugo de caña es un indicativo de deterioro, debido a que su aparición es el resultado de la hidrólisis de sacarosa en cantidades equimolares de glucosa y fructosa (Chauhan *et al.*, 2002), por lo que el mantenimiento del contenido de azúcares reductores en los jugos almacenados a 4°C (T1 y T2) son indicativos que después de 49 días la calidad del jugo se conserva. Asimismo, los resultados de T2 almacenado a 28°C concuerdan

con lo que indicaron Chauhan *et al.* en 2002 y Sankhla *et al.* en 2012; que el aumento de azúcares reductores es mayor a temperatura ambiente que en refrigeración.

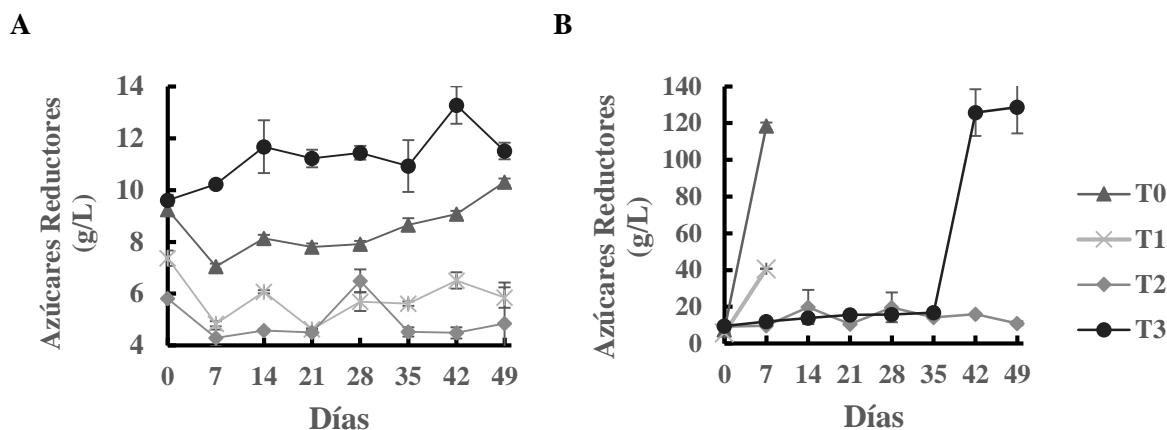


Figura 8. Efecto del ácido cítrico sobre los azúcares reductores (g/L) de las muestras de jugo de caña a través del tiempo en A $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ y B $28\pm 2^{\circ}\text{C}$. Las concentraciones de las muestras analizadas correspondieron a 0.0, 1.0, 2.0, 3.0 g/L de ácido cítrico (T0, T1, T2 y T3 respectivamente).

6.6 Microbiológicos

Los resultados de los análisis microbiológicos indican que las muestras de jugo de los tratamientos T0 y T1 almacenados a temperatura ambiente después de 7 días ya se habían descompuesto, presuntamente por el crecimiento de la microflora nativa de la caña de azúcar. De acuerdo a la NOM-130-SSA1-1995 para jugos y néctares pasteurizados el límite permisible para mesofílicos aerobios es de 100 UFC/mL, mientras que para mohos y levaduras es de 25 UFC/ mL, los resultados obtenidos en la presente investigación (**Tabla 2**) demuestra que para las muestras almacenadas a 28°C T2 y T3 se mantuvieron en valores adecuados para mesofílicos aerobios por 35 y 28 días, respectivamente. Por otro lado, como se puede observar en la **Tabla 3**, las muestras almacenadas a 4°C , T2 y T3 mantuvieron valores dentro del rango adecuado de mesofílicos aerobios indicado en la NOM-130-SSA1-1995, por 49 días mientras que, T0 y T1 solo por 21 días. Finalmente, en ninguna muestra almacenadas a 4°C y 28°C hubo crecimiento de mohos, ni levaduras. El escaso crecimiento de microorganismos también pudo haber contribuido a la estabilidad del color debido a lo mencionado por Bronchier *et al.*, (2016) quienes reportaron que la fermentación contribuyó en los cambios de color del jugo de la caña de azúcar y en el presente trabajo, la estabilidad estuvo en concordancia con la proliferación de microorganismos; como lo reportado por Khare *et al.*, (2012), quienes al bajar el pH del jugo de caña con jugo de limón, lograron un efecto conservante e inhibidor del crecimiento de microorganismos durante el almacenamiento.

Tabla2. Resultados microbiológicos de tratamientos almacenados a temperatura de 28°C (UFC/mL).

| | Día | | | | | | | |
|----|-----|------------|------------|----|----|-----|-----|-----|
| | 0 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 |
| T0 | 0 | Incontable | Incontable | ND | ND | ND | ND | ND |
| T1 | 0 | Incontable | Incontable | ND | ND | ND | ND | ND |
| T2 | 0 | 0 | 33 | 66 | 0 | 33 | 767 | 610 |
| T3 | 0 | 0 | 33 | 23 | 88 | 133 | 250 | 767 |

ND: No determinado debido a que el jugo ya se encontraba deteriorado.

Tabla3. Resultados microbiológicos de tratamientos almacenados en refrigeración 4±2°C (UFC/mL).

| | Día | | | | | | | |
|----|-----|---|----|----|------------|------------|------------|------------|
| | 0 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 |
| T0 | 0 | 0 | 33 | 66 | Incontable | Incontable | Incontable | Incontable |
| T1 | 0 | 0 | 33 | 66 | Incontable | Incontable | Incontable | Incontable |
| T2 | 0 | 0 | 33 | 66 | 66 | 67 | 71 | 66 |
| T3 | 0 | 0 | 33 | 33 | 33 | 66 | 33 | 33 |

6.7 Resumen estadístico

Tabla4. Resultados de la comparación múltiple de medias (μ) por tratamiento por Tukey del diseño experimental por Almacenamiento.

| | μ Temperatura Ambiente | | | | | μ Refrigeración | | | | |
|----|----------------------------|------------|------------|------------|------------|---------------------|------------|------------|------------|-------------|
| | °Brix | pH | Color | Turbidez | AR | °Brix | pH | Color | Turbidez | AR |
| T0 | 18.67±0.30c | 4.60±0.84a | 2.36±0.10a | 0.76±0.24a | ND | 18.94±0.09b | 5.38±0.11a | 2.15±0.36a | 0.46±0.15a | 8.52±1.31b |
| T1 | 19.05±0.08a | 4.38±0.04a | 1.87±0.32b | 0.54±0.22b | ND | 19.13±0.09a | 4.32±0.15b | 1.53±0.08b | 0.29±0.03b | 5.82±0.87c |
| T2 | 18.80±0.12b | 3.96±0.24b | 1.28±0.28c | 0.27±0.07c | 11.66± 2.4 | 18.82±0.13c | 3.91±0.11c | 1.26±0.11c | 0.27±0.04b | 4.94±0.83d |
| T3 | 18.04±0.07d | 3.75±0.19c | 0.94±0.25d | 0.19±0.07d | ND | 18.06±0.08d | 3.75±0.08d | 0.98±0.10d | 0.21±0.04c | 11.23±1.35a |

Comparación múltiple de medias, los datos presentados son las medias correspondientes más menos su error, en donde los subíndices indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable respuesta, en orden alfabético de mayor a menor la media obtenida por tratamiento. Subíndices iguales indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos.

7. CONCLUSIONES

La adición de ácido cítrico al jugo de caña de azúcar permitió la conservación y estabilidad de las características de color, turbidez, pH y contenido de azúcares reductores. La concentración de $2\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido cítrico y almacenamiento a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ fue la combinación que dio como resultado mejor estabilidad durante 49 días, manteniendo los atributos de calidad; misma concentración se mantiene con mejores atributos de calidad en almacenamiento a temperatura ambiente 28°C hasta 35 días. La evaluación microbiológica del jugo de caña tratado sustenta que esta bebida puede ser apta para consumo humano, al estar libre de microorganismos patógenos que puedan causar infecciones o intoxicaciones por su consumo. El presente estudio puede servir de base para futuras investigaciones de jugo de caña en México.

8. REFERENCIAS

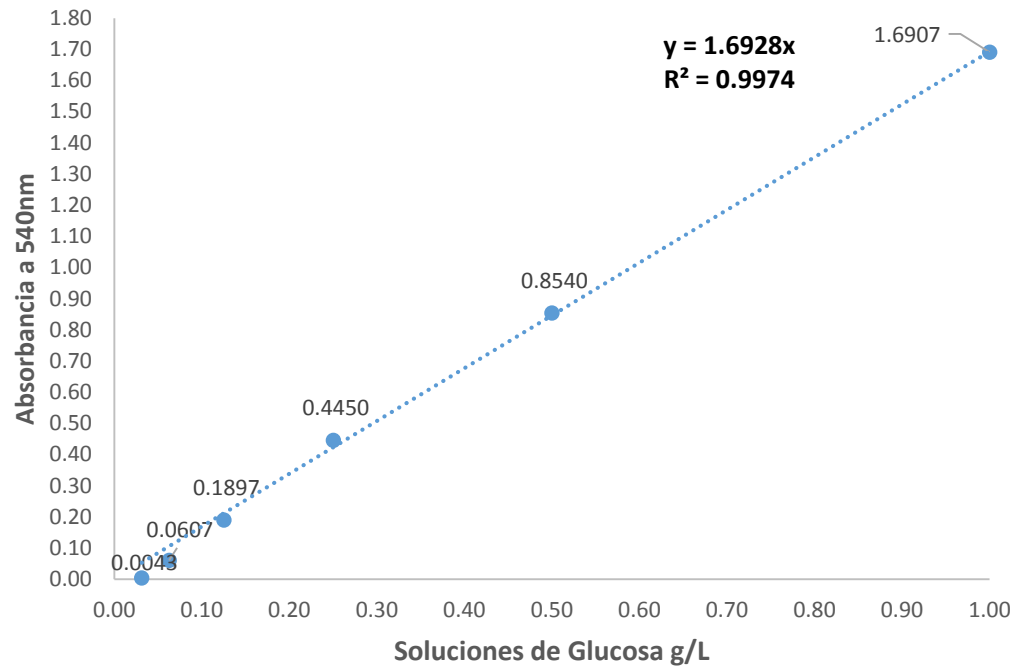
- Aguilar-Rivera, N. 2017. Cadena de valor de la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar en México. *Agro Productividad*, 10(11)21:28.
- Aguilar-Rivera, N., Debernardi-Vázquez, T. J., y Herrera-Paz, H. D. 2017. Subproductos, coproductos y derivados de la agroindustria azucarera. *AGROProductividad*, 10(11)13:21.
- Aguirre, M. y Poveda, C. 2011. Jugo de caña de azúcar envasado en vidrio. Escuela Superior del Litoral. Guayaquil. Ecuador.
- Bosquez Molina, Elsa 2010. Procesamiento térmico de frutas y hortalizas. México: Trillas, 2010. 232pp ISBN 978-607-17-0607-2.
- Brochier, B., Mercali, G. D., & Marczak, L. D. F. 2016. Influence of moderate electric field on inactivation kinetics of peroxidase and polyphenol oxidase and on phenolic compounds of sugarcane juice treated by ohmic heating. *LWT-Food Science and Technology*, 74,396:403.
- Bucheli, C. 1995. Sugarcane polyphenol oxidase (Doctoral dissertation).
- Chauhan, O.P.; Singh, D.; Tyagi, S.M. And Balyan, D.K. 2002, Studies on preservation of sugarcane juice, *International Journal of Food Properties*, 5,217:229.
- CODEX STAN 192-1995. Zumos y néctares de frutas. Disponible en línea en: http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf
- CONADESUCA 2016. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar “Variedades con mejores rendimientos de las zonas cañeras en México” https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114367/Nota_Informativa_Febrero_2016_Variedades_con_Mejores_Rendimientos_de_las_Zonas_Ca_eras_en_M_xico.pdf
- CONADESUCA 2019a. “Reporte final de producción de caña y azúcar de la zafra 2017/18” Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/481592/REPORTE_FINAL.pdf Consultado: Octubre 14,2019.
- CONADESUCA 2019b. “Infografías de la agroindustria de la caña de azúcar” Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conadesuca/documentos/infografias-de-la-agroindustria-de-la-cana-de-azucar-2017-18-106169> Consultado: Mayo 14,2020.
- CONAPO 2019. Población a inicio de año. Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050. Consejo Nacional de Población. México. Consultado en línea: <http://www.conapo.gob.mx> Recopilado Jun, 25.2019.
- Dantas, R.L., A.P.T. Rocha, A.S. Araujo, M.S.A. Rodrigues, and T.K.L. Maranhão. 2010. Profile of quality fruit pulp sold in the city of Campina Grande/PB/Brazil. *Green Magazine for Agroecology and Sustainability Development* 5, 61:66.
- EL ECONOMISTA 2017. Producción de azúcar repuntará en ciclo 2017-2018. Copyright © 1988-2015 Periódico El Economista S.A. de C.V. Consultado en línea en: <https://www.economista.com.mx/empresas/Produccion-de-azucar-repuntara-en-ciclo-2017-2018-20171201-0018.html> Recopilado Jun, 11.2019

- EL ECONOMISTA 2019. La agroindustria del azúcar en cifras (II) Copyright © 1988-2015 Periódico El Economista S.A. de C.V. Consultado en línea en: <https://www.economista.com.mx/opinion/La-agroindustria-del-azucar-en-cifras-II-20191029-0094.html> Recopilado Jun, 25.2020.
- EL UNIVERSAL 2017. México, campeón mundial en consumo de refresco. EL UNIVERSAL, Compañía Periodística Nacional S. A. de C. V. México. Consultado en línea en: <https://www.eluniversal.com.mx/articulo/nacion/sociedad/2017/03/29/mexico-campeon-mundial-en-consumo-de-refresco#> Recopilado Jul, 06.2020.
- Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., Salazar-Ortiz, J., Pérez-Sato, J. A., Sentíes-Herrera, H. E., Bello-Bello, J. J., y Aguilar-Rivera, N. 2017. La diversificación de la agroindustria azucarera como estrategia para México. *Agroproductividad*, 10(11) 7:12.
- Hu, R., Lin, L., Liu, T., Ouyang, P., He, B., y Liu, S. 2008. Reducing sugar content in hemicellulose hydrolysate by DNS method: a revisit. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2(2)156:161.
- INEGI, 2017. Encuesta Nacional Agropecuaria 2017. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Consultado en línea de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2017/doc/mini_ena17.pdf Recopilado Abril 14,2019.
- Kaavya, R., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Priya, E. B., y Prasath, V. A. 2019. Sugarcane juice preservation: a critical review of the state of the art and way forward. *Sugar Tech*, 21(1)9:19.
- Khare, A., Behari Lal, A., Singh, A., y Pratap Singh, A. 2012. Shelflife enhancement of sugarcane juice. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam*, 7(3-4), 179:183.
- Kirk, R. S., Sawyer, R., Egan, H., Ortega, M. T. A., y Kirchner, O. G. 1996. Composición y análisis de alimentos de Pearson. México, D. F: Compañía Editorial Continental. pp 285:299
- Lane J. H., Eynon L., 1923 *Int. Sug. J.* 25, 143.
- Mao, L. C., Xu, Y. Q., and Que, F. 2007. Maintaining the quality of sugarcane juice with blanching and ascorbic acid. *Food Chemistry*, 104(2): 740-745.
- Miller, G. L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical chemistry*, 31(3)426:428.
- NMX-F-277-1991. Sugar industry. Samples of sugar cane juice. reducing substances. Method of test. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- OCDE-FAO 2017. Perspectivas agrícolas 2017-2026. 3.Resúmenes de los productos básicos©. OCDE/FAO 2017. <http://www.fao.org/3/a-BT088s.pdf>
- Ortiz-Laurel, H., Salgado García, S., Castelán Estrada, M., and Córdova Sánchez, S. (2012). Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(SPE4), 767:773.
- Pandey, A., y Negi, P. S. 2018. Use of Natural Preservatives for Shelf Life Extension of Fruit Juices. In *Fruit Juices*. Academic Press. (571:605).

- PROFECO 2018. Alimentos Chatarra. Procuraduría Federal del Consumidor. México. Disponible en línea en: <https://www.gob.mx/profeco/documentos/alimentos-chatarra?state=published> Recopilado Jun 10,2020.
- Rashed, N., Aftab, U. M., Azizul, H. M., Saurab, K. M., Mrityunjoy, A., y Majibur, R. M. 2013. Microbiological study of vendor and packed fruit juices locally available in Dhaka city, Bangladesh. *International food research Journal*, 20(2).
- SAGARPA 2017. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Planeación Agrícola Nacional Caña de Azúcar 2017-2030. México. Consultado en línea de: http://www.consejagri.mx/images/planeacion%20agrinal%20mex/cultivos%20estrategicos%20basicos/Basico-Cana_de_Azucar.pdf Recopilado Diciembre 6, 2018.
- Salgado-García, Aranda-Ibáñez, Castelán-Estrada, Ortiz-Laurel, Palma-López, Córdova-Sánchez, S. 2014. Qué hacer con la paja de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar. *Agroproductividad*. 3-8
- Salminen, S., von Wright, A., y Ouwehand, A. 2005. *Lactic acid bacteria: microbiological and functional aspects*, 3rd revised and expanded edition. Marcel Dekker, Inc. pp. 001
- Sankhla, S., Chaturvedi, A., Kuna, A., y Dhanlakshmi, K. 2012. Preservation of sugarcane juice using hurdle technology. *Sugar Tech*, 14(1), 26:39.
- Souza, S. O., Costa, S. S. L., Brum, B. C. T., Santos, S. H., Garcia, C. A. B., & Araujo, R. G. O. 2019. Determination of nutrients in sugarcane juice using slurry sampling and detection by ICP OES. *Food chemistry*, 273, 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.060>
- Sugarcane Island 2016. Sugarcane Juice 6 Pack. Copyright @ 2016 Sugarcane Island Disponible en línea de: <https://www.sugarcaneisl.com/shop/cane-juice-6-pack>. Consultado Jul 07 2020
- Yasmin, A.; Masood, S. y Abid, H. 2010. “Biochemical analysis and sensory evaluation of naturally preserved sugarcane juice”. *Pak J Biochem Mol Biol*, 43,144:145.
- ZAFRANET. 2018. Industriales del azúcar preocupados por excedentes, exportaciones y producción nacional. Disponible en línea en: <https://www.zafranet.com/2018/11/industriales-del-azucar-preocupados-por-excedentes-exportaciones-y-produccion-nacional/> Consultado: enero 15, 2019.
- Zamudio, I. 2019 Cañeros toman bodegas de azúcar del país. *Revista MILENIO* © Disponible en línea en: <https://www.milenio.com/estados/caneros-toman-bodegas-de-azucar-del-pais> Consultado: enero 30, 2019
- Zhao, Y. 2012. *Specialty foods: processing technology, quality, and safety*. CRC Press. Pág. 229
- Zavaleta, N. 2013 Cañeros toman y bloquean más de 50 ingenios en el país. *Revista PROCESO* © Comunicación e Información S.A. de C.V. <https://www.proceso.com.mx/331308/caneros-toman-y-bloquean-mas-de-50-ingenios-en-el-pais> Consultado: enero 30, 2019.

9. ANEXOS

A1. Curva patrón de glucosa con ecuación de la recta linearizada $y = 1.6928x$ y $R^2 = 0.9974$.



A2. Tratamiento térmico a 70°C durante 10 minutos



A3. Agotamiento de frascos con Jugo de Caña Tratamiento 0.



A4. Reacción de los tratamientos de jugo de caña con el Reactivo DNS para evaluación de Azúcares Reductores.



A5. Frascos con jugo de caña de los cuatro tratamientos almacenados en temperatura ambiente.



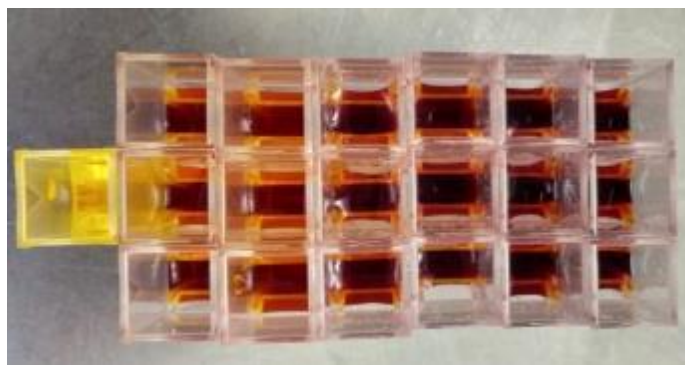
(De Izquierda a Derecha: Tratamiento 0, Tratamiento 1, Tratamiento 2 y Tratamiento 3).

A6. Frascos con jugo de caña de los cuatro tratamientos almacenados en refrigeración.



(De Izquierda a Derecha: Tratamiento 0, Tratamiento 1, Tratamiento 2 y Tratamiento 3).

A7. Cubetas con resultado de la reacción del reactivo DNS con diluciones de jugo de caña por tratamiento y almacenamiento



A8. Resultados estadísticos

Response: Brix

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) | |
|----------------------------|-----|---------|---------|-----------|-----------|-----|
| Tratamiento | 3 | 26.5575 | 8.8525 | 2116.3025 | < 2.2e-16 | *** |
| Almacenamiento | 1 | 0.1452 | 0.1452 | 34.7036 | 4.973e-08 | *** |
| Evaluacion | 7 | 0.7278 | 0.1040 | 24.8566 | < 2.2e-16 | *** |
| Tratamiento:Almacenamiento | 3 | 0.2063 | 0.0688 | 16.4365 | 8.705e-09 | *** |
| Tratamiento:Evaluacion | 21 | 0.2766 | 0.0132 | 3.1492 | 6.083e-05 | *** |
| Almacenamiento:Evaluacion | 7 | 0.1531 | 0.0219 | 5.2291 | 4.028e-05 | *** |
| Trat:Almac:Evaluacion | 9 | 0.3102 | 0.0345 | 8.2393 | 3.983e-09 | *** |
| Residuals | 102 | 0.4267 | 0.0042 | | | |

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.06468 on 102 degrees of freedom
(2 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared: 0.9852, Adjusted R-squared: 0.9778
F-statistic: 133 on 51 and 102 DF, p-value: < 2.2e-16

Response: pH

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) | |
|----------------------------|-----|--------|---------|-----------|-----------|-----|
| Tratamiento | 3 | 45.195 | 15.0651 | 1626.0731 | < 2.2e-16 | *** |
| Almacenamiento | 1 | 0.250 | 0.2499 | 26.9753 | 1.058e-06 | *** |
| Evaluacion | 7 | 1.689 | 0.2413 | 26.0468 | < 2.2e-16 | *** |
| Tratamiento:Almacenamiento | 3 | 2.953 | 0.9844 | 106.2487 | < 2.2e-16 | *** |
| Tratamiento:Evaluacion | 21 | 1.676 | 0.0798 | 8.6134 | 1.497e-14 | *** |
| Almacenamiento:Evaluacion | 7 | 0.891 | 0.1273 | 13.7427 | 2.031e-12 | *** |
| Trat:Almac:Evaluacion | 9 | 1.345 | 0.1495 | 16.1329 | 3.816e-16 | *** |
| Residuals | 102 | 0.945 | 0.0093 | | | |

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.09625 on 102 degrees of freedom
(2 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared: 0.9828, Adjusted R-squared: 0.9742
F-statistic: 114.3 on 51 and 102 DF, p-value: < 2.2e-16

Response: Color

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) | |
|----------------------------|-----|---------|---------|----------|-----------|-----|
| Tratamiento | 3 | 30.1511 | 10.0504 | 313.1106 | < 2.2e-16 | *** |
| Almacenamiento | 1 | 0.1754 | 0.1754 | 5.4649 | 0.021355 | * |
| Evaluacion | 7 | 0.7653 | 0.1093 | 3.4059 | 0.002605 | ** |
| Tratamiento:Almacenamiento | 3 | 0.3520 | 0.1173 | 3.6559 | 0.014983 | * |
| Tratamiento:Evaluacion | 21 | 2.4232 | 0.1154 | 3.5948 | 7.733e-06 | *** |
| Almacenamiento:Evaluacion | 7 | 0.4394 | 0.0628 | 1.9554 | 0.068462 | . |
| Trat:Almac:Evaluacion | 9 | 0.6069 | 0.0674 | 2.1008 | 0.036036 | * |
| Residuals | 102 | 3.2740 | 0.0321 | | | |

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1792 on 102 degrees of freedom
(2 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared: 0.9143, Adjusted R-squared: 0.8714
F-statistic: 21.33 on 51 and 102 DF, p-value: < 2.2e-16

Response: Turbidez

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) | |
|----------------------------|-----|---------|---------|----------|-----------|-----|
| Tratamiento | 3 | 2.07352 | 0.69117 | 171.6655 | < 2.2e-16 | *** |
| Almacenamiento | 1 | 0.16997 | 0.16997 | 42.2141 | 3.041e-09 | *** |
| Evaluacion | 7 | 0.32823 | 0.04689 | 11.6459 | 8.312e-11 | *** |
| Tratamiento:Almacenamiento | 3 | 0.40905 | 0.13635 | 33.8647 | 2.846e-15 | *** |
| Tratamiento:Evaluacion | 21 | 0.41795 | 0.01990 | 4.9432 | 1.901e-08 | *** |
| Almacenamiento:Evaluacion | 7 | 0.17354 | 0.02479 | 6.1574 | 5.117e-06 | *** |
| Trat:Almac:Evaluacion | 9 | 0.17020 | 0.01891 | 4.6968 | 3.187e-05 | *** |
| Residuals | 102 | 0.41068 | 0.00403 | | | |

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.06345 on 102 degrees of freedom
(2 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared: 0.9011, Adjusted R-squared: 0.8517
F-statistic: 18.23 on 51 and 102 DF, p-value: < 2.2e-16

Response: AR

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) | |
|----------------------------|-----|---------|---------|----------|-----------|-----|
| Tratamiento | 3 | 8010.4 | 2670.1 | 159.769 | < 2.2e-16 | *** |
| Almacenamiento | 1 | 17076.5 | 17076.5 | 1021.787 | < 2.2e-16 | *** |
| Evaluacion | 7 | 11028.9 | 1575.6 | 94.275 | < 2.2e-16 | *** |
| Tratamiento:Almacenamiento | 3 | 9475.9 | 3158.6 | 188.998 | < 2.2e-16 | *** |
| Tratamiento:Evaluacion | 21 | 21348.8 | 1016.6 | 60.830 | < 2.2e-16 | *** |
| Almacenamiento:Evaluacion | 7 | 17645.9 | 2520.8 | 150.836 | < 2.2e-16 | *** |
| Trat:Almac:Evaluacion | 9 | 18776.6 | 2086.3 | 124.835 | < 2.2e-16 | *** |
| Residuals | 100 | 1671.2 | 16.7 | | | |

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 4.088 on 100 degrees of freedom

(4 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.9841, Adjusted R-squared: 0.976

F-statistic: 121.3 on 51 and 100 DF, p-value: < 2.2e-16