



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE LOS
ALIMENTOS**

**EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA COMPOSICIÓN DE DOS TIPOS
DE JARABES: MEZQUITE (*Prosopis laevigata*) Y CAÑA DE AZÚCAR
(*Saccharum officinarum*)**

TESINA

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE LOS
ALIMENTOS**

PRESENTA

IIA. ISABEL LARA CRUZ

DIRECTORA DE TESINA

D.C VERÓNICA LILIANA RAMÍREZ FALCÓN

ASESOR DE TESINA

M.C. MARTÍN ÁLVARO LAZCANO HERNÁNDEZ

PUEBLA, PUE.

FEBRERO 2024

Resumen

Se realizó un estudio comparativo de la evaluación fisicoquímica de jarabe de mezquite y jarabe de caña de azúcar para establecer cuál de los dos tiene mejores propiedades nutrimentales (minerales y fibra) para utilizarse como endulzante natural que tenga gran aporte nutricional además de cumplir con los estándares fisicoquímicos para considerarse como jarabe. Para lograr el objetivo se realizan los debidos análisis de fibra soluble e insoluble y análisis elemental por fluorescencia de rayos X (WDXRF) que nos da el contenido de minerales presentes en cada jarabe.

Los resultados fueron alentadores para ambos jarabes que se compararon con otros como los jarabes de henequén, yacón y agave, ya que mostraron mejores propiedades nutrimentales, además los datos de la comparación entre los dos fueron positivos ya que el jarabe de caña de azúcar fue mejor en el contenido de fibra soluble y el jarabe de mezquite en el contenido de minerales presentes, siendo estos dos parámetros nutrimentales importantes para el buen desarrollo metabólico del organismo y de coadyuvar al control de colesterol y glucosa presentes en la sangre.

Índice de contenido

ANTECEDENTES	7
Endulzantes naturales	7
Árbol de mezquite	8
Vaina de mezquite	8
Composición química y nutrimental de la vaina de mezquite	9
Principales usos de la vaina de mezquite en la alimentación.....	9
Harina	9
Bebidas.....	10
Jarabe de mezquite.....	10
Caña de azúcar.....	11
Jugo de la caña de azúcar y su composición química.....	11
Jarabe de caña de azúcar	12
Tendencias de los usos de jarabes en la industria alimentaria	12
Análisis para control de calidad de los jarabes.....	13
JUSTIFICACIÓN	15
OBJETIVO GENERAL.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
DIAGRAMA DE FLUJO.....	17
MATERIALES Y MÉTODOS	18
METODOLOGÍA	20
Recepción de materia prima.....	20
Lavado y desinfectado	20
Acondicionamiento de la materia prima	20
Obtención del jarabe.....	20
Análisis fisicoquímicos.....	20
pH	20

°Brix	21
% de Humedad.....	21
Grasa.....	21
Fibra cruda	22
Fibra soluble.....	22
Análisis de composición elemental por fluorescencia de rayos X de dispersión por longitud de onda.	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
Jarabes	24
Análisis fisicoquímicos.....	25
Análisis de composición elemental (WDXRF).....	27
CONCLUSIÓN.....	29
BIBLIOGRAFÍA.....	30

Índice de tablas

Tabla 1 Composición química del jugo de caña	12
Tabla 2 Métodos y referencias	18
Tabla 3 Características físicas de los jarabes de mezquite y caña de azúcar	24
Tabla 4 Resultados análisis fisicoquímicos	25
Tabla 5 Contenido de minerales en jarabe de mezquite y caña de azúcar vs jarabe de henequén, yacón y de agave	27

Índice de figuras

Fig. 1 Harina de mezquite	9
Fig. 2 Fundamento de WDXRF	14
Fig. 3 Representación del equipo WDXRF	14
Fig. 4 Jarabe de Caña de azúcar	24
Fig. 5 Jarabe de mezquite	24

ANTECEDENTES

Endulzantes naturales

Los endulzantes naturales son aquellos que proceden de la naturaleza. Entre ellos se encuentra: la fruta, la fruta desecada, miel, hojas de estevia, xylitol, alulosa, monkfruit, dátiles, sirope de agave e incluso algunas verduras o tubérculos (Conasi, 2023).

Para referirse a los azúcares sin refinar se debe comprender a estos como a los endulzantes que no han pasado por un proceso de clarificado o refinado en comparación a los azúcares refinados a los cuales “durante ese proceso de clarificación o purificación química se le retiran ciertos nutrientes como fibra, vitaminas, minerales y agua” (Espinoza, 2021)., siendo así, los endulzantes sin clarificado siguen manteniendo gran parte de sus nutrientes y sin llevar procesos con químicos, tal es el caso de los siguientes endulzantes:

- Melazas: se define como melaza al líquido denso, viscoso y de color oscuro que se obtiene de la centrifugación de la masa de tercera cocida y de la cual ya no puede recuperar más azúcares por métodos convencionales y económicos (Valencia y Zapata, 2014).
- Siropes: son el jugo concentrado de una fruta o el resultado de la extracción de la savia de algunos árboles o plantas a las que se les ha eliminado parte del agua y se concentran los azúcares (Rosselló, 2022).
- Jarabe: Es la solución acuosa, de consistencia viscosa, con alta concentración de carbohidratos y purificada; se caracteriza por tener un sabor dulce (NOM-003-SAGARPA-2016). De otra manera se puede entender como soluciones de azúcares (generalmente reductoras) que llegan a una concentración mínima de 60% de sólidos solubles del peso total (Arvizu et al., 2016).

El jarabe es un líquido viscoso, fluido y comestible. El jarabe de mesa debe contener al menos 60% de sólidos de azúcar solubles del peso total, y se elaboran añadiendo o no agua, entre otros ingredientes con propósitos nutricionales. Además, se le pueden agregar saborizantes naturales o artificiales, aditivos de color, frutas, sal, agentes espesantes, etcétera. Siempre y cuando sean compatibles con este alimento. Para darle el nombre al jarabe se debe identificar que por lo menos tenga el 80% del total de sólidos del edulcorante o materia prima utilizada, de este modo el nombre del alimento puede ser designado como el jarabe correspondiente, por ejemplo, el jarabe de maíz (NMX-F-169-1984; Valenzuela, 2010).

Sacarosa, jarabe de glucosa, lactosa, glucosa/dextrosa, levulosa/fructosa, todos esos azúcares también son llamados «azúcares simples o concentrados», y constituyen un conjunto heterogéneo de compuestos químicos; cumplen diversas funciones: nutricionales, organolépticas y de conservación e incluyen los monosacáridos (glucosa y fructosa) y los disacáridos (sacarosa: azúcar de caña o remolacha, la lactosa: azúcar de la leche y la maltosa: monosacáridos y los disacáridos tienen la capacidad de absorberse rápidamente, dar un sabor dulce, solubilizarse fácilmente en agua, además de cristalizarse y obtener caramelo (Benjumea y Correa, 2011).

Árbol de mezquite

Es un árbol o arbusto frondoso de aproximadamente 20 m de altura, que pertenece a la especie botánica de plantas espinosas leguminosas de la familia Leguminosae y género *Prosopis*, se encuentra principalmente en zonas áridas y semiáridas (Valenzuela et al., 2011).

El género *Prosopis* son leguminosas que tienen gran resistencia a la sequía, a la salinidad y tienen la capacidad de fijar el nitrógeno en el suelo. Su cultivo es recomendado con una doble finalidad de detener la desertificación y erosión del suelo en zonas áridas y su fruto para uso en alimentación humana y animal (Prokopiuk, 2004).

Vaina de mezquite

La vaina de mezquite está en forma de legumbre, alargada, recta o semicurvada de 3 a 30 cm de largo (Ruiz, 2011). Se compone de tres capas: la externa llamada pericarpio, es delgada, lisa, ligeramente blanda y con color variado que cuando madura puede ser moteada en colores café, amarilla o roja, la segunda o media capa es el mesocarpio, es semicarnosa y dulce, la capa interna es el endocarpio que rodea a las semillas y les brinda protección (Resendez, 2014).

El exocarpio y endocarpio suele ser usado en la elaboración de productos alimenticios como sucedáneo de café, polvo soluble instantáneo, productos de panadería, proteína enriquecida y fibra dietética (Prokopiuk, 2004).

El endocarpio principalmente se usa como combustible y forraje para alimentación de ganado y el endospermo se obtiene una goma y del cotiledón proteína (Prokopiuk, et al., 2000).

Composición química y nutrimental de la vaina de mezquite

Actualmente ya existen estudios donde se ha identificado que son una excelente fuente de proteínas, fibra, azúcares (Talpada et al., 2002), incluso compuestos bioquímicos (alcaloides, taninos, terpenos, y flavonoides) (Pereira et al. 2013), por lo que puede ser considerado como una opción para su uso en los alimentos tanto como para humanos como animales, (Rodríguez et al, 2018), por lo anterior se puede establecer un banco de subproductos de la vaina de mezquite para incluirla en la dieta, dentro los productos ya encontrados se tienen principalmente a las harinas, gomas, jarabes y como planta medicinal (Altamirano, 2020).

De acuerdo a los diversos estudios, la vaina contiene de 9 a 17 % de proteína, 47% de carbohidratos (Carrillo et al, 2007), de 3 a 5% de cenizas, 2.8% de grasas (Ruiz, 2011) y un contenido de fibra cruda de 16.9 a 18.99% reportado por investigadores como Reddy et al. (1990).

En reportes de la SEMARNAT se menciona que la vaina de mezquite se compone de la pulpa (mayor contenido de sacarosa, fibra y proteína), endocarpo (fibra soluble) y semilla (proteína y galactomananas) (Torres, 2009).

Principales usos de la vaina de mezquite en la alimentación

Harina

La harina de mezquite es un polvo fino que se obtiene principalmente de la molienda y tamizado de las vainas secas; para esto se utilizan tamices que proporcionen un producto con un tamaño de partícula fina de tamaño menor a 0,15 mm (Fig 1). Para su obtención se lleva a cabo una serie de etapas como: selección, lavado, escurrido, secado, molienda, tamizado y envasado (Grados et al., 2000).



Fig. 1
Harina de mezquite
Tomada de Ortiz (2019).

Sin importar la forma en cómo se obtenga la harina de la vaina de mezquite, una vez conseguida, se puede mezclar con otros alimentos para obtener bebidas, o para la preparación de postres, pastas, pasteles, entre otros a modo de sustituir por ejemplo una harina de trigo, de esta manera se consigue un producto con mayor contenido de proteína (Barba de la Rosa et al., 2006) (Bigne, Puppo y Ferrero, 2018).

Bebidas

En países del sur de América consumen bebidas y jarabes obtenidos de la algarrobina de mezquite. La algarrobina es un jarabe concentrado de los azúcares naturales que se obtienen de la vaina de algarroba (mezquite) de 75 a 78° Brix, misma que se elabora hirviendo el fruto con agua y luego se evapora hasta obtener un líquido espeso de color café oscuro brillante, este se utiliza principalmente como saborizante en diversos alimentos como las ensaladas o para sazonar ciertas carnes (Altamirano, 2000).

Las principales etapas de producción son: recolección, selección, secado, lavado, troceado, extracción de azúcares con agua hirviendo, filtrado y concentración del jugo hasta obtener el producto antes mencionado (Grados et al., 2000).

Para el caso de México los antepasados chichimecas elaboraban una especie de atole llamada mezquiatole, que a la actualidad ha ido disminuyendo, tendiendo solo ciertas zonas donde aún lo elaboran y consumen como es el caso de Guanajuato. Su preparación se lleva a cabo como un atole normal con masa, piloncillo, canela y se le incorpora el extracto de las vainas cocidas de mezquite (Alonso, 2017).

Jarabe de mezquite

La algarrobina es un jarabe concentrado de los azúcares naturales que se obtienen de hervir agua y la vaina de mezquite por dos horas, filtrando el jugo y llevándolo a evaporación hasta la concentración de sus azúcares naturales de 75 a 78° Brix. (Altamirano, 2020).

En la actualidad existe poca información respecto a análisis fisicoquímicos relacionados al jarabe de mezquite.

Caña de azúcar

Es una gramínea tropical perenne (*Saccharum Officinarum*) con tallos gruesos y fibrosos que pueden crecer entre 3 y 5 metros de altura. Éstos contienen una gran cantidad de sacarosa que se procesa para la obtención de azúcar. La caña de azúcar es uno de los cultivos agroindustriales más importantes en las regiones tropicales (Herrera, 2011).

Morfológicamente se caracteriza por presentar macollos, que son brotes secundarios que se forman a partir de las yemas axilares, ubicadas en los nudos del eje principal. Se propaga en forma asexual por medio de trozos o esquejes que contienen las yemas, donde cada una puede desarrollarse en un tallo primario, que a su vez forma tallos secundarios y terciarios (González, 2019).

El 65% de las raíces se encuentran en los primeros 20 cm de profundidad del suelo y el 80% de ellas se concentran en un radio de 60 cm de la cepa y 60 cm de profundidad. Los tallos son cilíndricos, erectos, fibrosos y compuestos de nudos y entrenudos, la altura varía desde 1,0 hasta 5,0 m, y el diámetro varía de 1,0 cm a 5,0 cm. La hoja de la caña de azúcar, después de desarrollada, consiste en una lámina y vaina que rodea al tallo, distribuyéndose en forma alternada y opuesta (Duarte y González, 2019).

Jugo de la caña de azúcar y su composición química

El jugo de caña es viscoso, opaco y su color oscurece después de ser extraído. Esto se debe a una reacción química entre las proteínas del jugo y sus azúcares (Pinero, 2023).

Se forman unos compuestos de color marrón o verde oscuro, llamados melanoidinas. A partir del jugo se obtienen los cristales de sacarosa, con la que se prepara el azúcar de mesa (Pinero, 2023).

Cualitativamente, el jugo de caña es principalmente agua y un conjunto de sólidos disueltos y en suspensión. El análisis químico de este producto (Tabla 1.) de la industria azucarera, evidencia que entre los sólidos disueltos o solubles se encuentran azúcares como la glucosa, la fructosa y la sacarosa, siendo este último su componente mayoritario (Santana, et al., 2019).

Otros de estos compuestos son los llamados "no azúcares" que consisten en sustancias nitrogenadas como aminoácidos y proteínas, grasas, ceras, pectinas, ácidos orgánicos y colorantes, además de sustancias inorgánicas que están representadas por las cenizas.

También contiene pequeñas cantidades de almidón en forma de gránulos, aproximadamente entre 50 y 70 mg/L. Los sólidos en suspensión son principalmente residuos fibrosos resultado del proceso de molienda de la caña (Hernández et al., 2008).

Tabla 1.
Composición química del jugo de caña

Componentes	Sólidos solubles (masa %)
Azúcar	75,0-92,0
Sacarosa	70,0-88,0
Glucosa	2,0-4,0
Fructuosa	2,0-4,0
Sales	3,0-4,5
Ácidos inorgánicos	1,5-4,5
Ácidos orgánicos	1,0-3,0
Aminoácidos	0,5-2,5
Otros no azúcares orgánicos	
Proteínas	0,5-0,6
Almidón	0,001-0,050
Gomas	0,30-0,60
Ceras, grasas y fosfatídicos	0,05-0,15
Otros	3,0-5,0

Tomada de Santana et al., 2019

Jarabe de caña de azúcar

El jarabe de caña de azúcar proviene de la evaporación de jugo a cierta concentración de azúcares, según lo reportado por Peña (2017). El jarabe puede tener 75,3% de sólidos solubles, un contenido de 36.2% de sacarosa; 30.2% de glucosa y 30.2% de fructosa, y un valor de pH de 3.9.

De acuerdo datos de la Fundación Española para el desarrollo de la nutrición animal (FEDNA, 2021) el jarabe de caña contiene algunos minerales en pequeñas cantidades como sodio, calcio, hierro, magnesio, fósforo y potasio, siendo este último y el calcio quienes se encuentran en mayor concentración.

Dentro de sus propiedades químicas tiene un 2.4% de proteína, sin presentar fibra y apenas un 1% de grasa.

Tendencias de los usos de jarabes en la industria alimentaria

Un sustituto de azúcar o edulcorante se denomina a una sustancia que tiene un mayor grado de dulzor que la azúcar de mesa conocida, pero que también tiene menor contenido calórico, como es el caso de los jarabes, los cuales pueden contener azúcar dependiendo de su origen,

pero también otras cualidades nutritivas como puede ser fibra, proteína e incluso minerales que un ser humano debe adquirir por una dieta (García et al., 2013).

El uso de jarabes se da principalmente en alimentos para el desayuno, especialmente como aderezos, o endulzantes que está aumentando debido a la creciente demanda de los consumidores, además, por la amplia gama de sabores que se ofrecen, su demanda ha ido en aumento entre las preferencias de los consumidores (Modor itelligence, s.f.).

Los edulcorantes a partir de granos ciertamente no son nada nuevo, ya que el jarabe de cebada malteada y el jarabe de arroz disfrutaban de una larga popularidad entre los fabricantes de alimentos saludables. Dado que los alérgenos son una consideración para muchos procesadores, los edulcorantes de arroz, sorgo, tapioca y avena antes mencionados se están poniendo de moda (Molina, s.f.).

El jarabe de sorgo, a menudo comparado en sabor y color con la melaza, ha sido tendencia en los últimos años. El jarabe de avena, alto en maltosa, tiene una agradable nota tostada que lo hace adecuado para productos horneados, barras y cereales (Molina, s.f.).

Las tendencias de endulzantes apuntan también a una búsqueda de elementos naturales y el abandono de los productos “artificiales”. Según el artículo de Villalba (2017), el 43% de los encuestados evita también edulcorantes artificiales, conservantes artificiales (38%) y sabores artificiales (35%), por lo tanto, al tener un jarabe de origen natural supone ser una alternativa para sustituir a los edulcorantes artificiales o a la azúcar de mesa, además de que proporcionará nutrientes a menos calorías a los consumidores (Carnero, 2023).

Análisis para control de calidad de los jarabes.

La proveedora Marvel Panalitycal a Spectris Company, expresa que la fluorescencia de rayos X de dispersión por longitud de onda (WXRF) Se puede utilizar para determinar la composición químico-elemental de los alimentos teniendo elementos desde el Sodio hasta Uranio, donde podemos encontrar desde elementos nutricionales para el ser humano, hasta aquellos elementos que sugieren tener efectos negativos en la salud de quien lo llega a consumir, por tanto, es un análisis que mediar la presencia de nutrientes que tienen cualidades benéficas o tóxicas al organismo.

El equipo WXDRF, permite determinar todos los elementos que una muestra puede tener sin necesidad de destruir la estructura de la muestra, esta muestra emite su propia fluorescencia cuándo es excitada por una fuente de rayos X primarios. Dichos rayos tienen la capacidad de

expulsar los electrones de las capas más internas denominadas como K y L, creando un vacío de ese espacio que deja el electrón, mismo que es llenado por un electrón de la capa atómica más externa que libera rayos X secundarios (ver fig. 2) (Fernández, 2008).

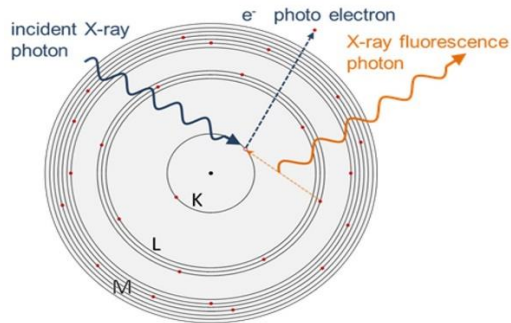


Fig. 2
Fundamento de WXDRF
Tomada de Bruker s.f.

Cuando el electrón es expulsado emite cierta energía fluorescente que va a ser receptada por un cristalizador, que a la vez va a reflejar la fluorescencia de cada elemento que será identificada en un detector como se muestra en la fig. 3 (Padilla et al., 2020)

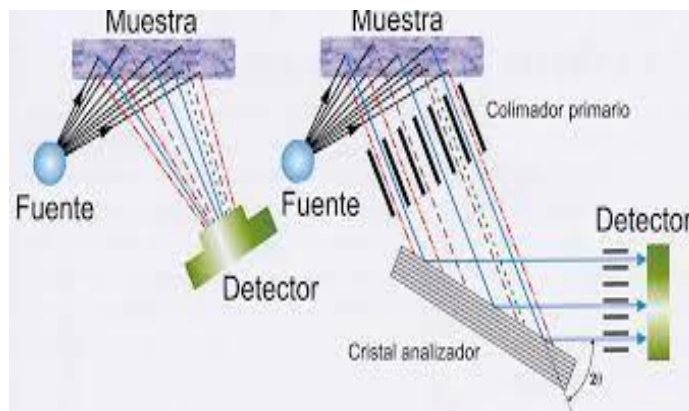


Fig. 3
Representación del equipo WXDRF
Tomada de Google, s.f.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad los consumidores se encuentran cada vez más concienciados de la influencia de la alimentación en su salud y como consecuencia intentan reducir la ingesta de azúcar dentro de sus dietas y lo que consuman además les aporten nutrientes, por lo cual se propone comparar dos tipos de jarabes (vainas de mezquite y caña de azúcar) para determinar cuál de los dos tendría mejores aplicaciones como un jarabe que pueda sustituir a la azúcar de mesa pudiendo usarlo como complemento para endulzar alimentos como postres o bebidas y así mismo dar a conocer una alternativa más al uso de la vaina de mezquite por sus características edulcorantes y nutricionales.

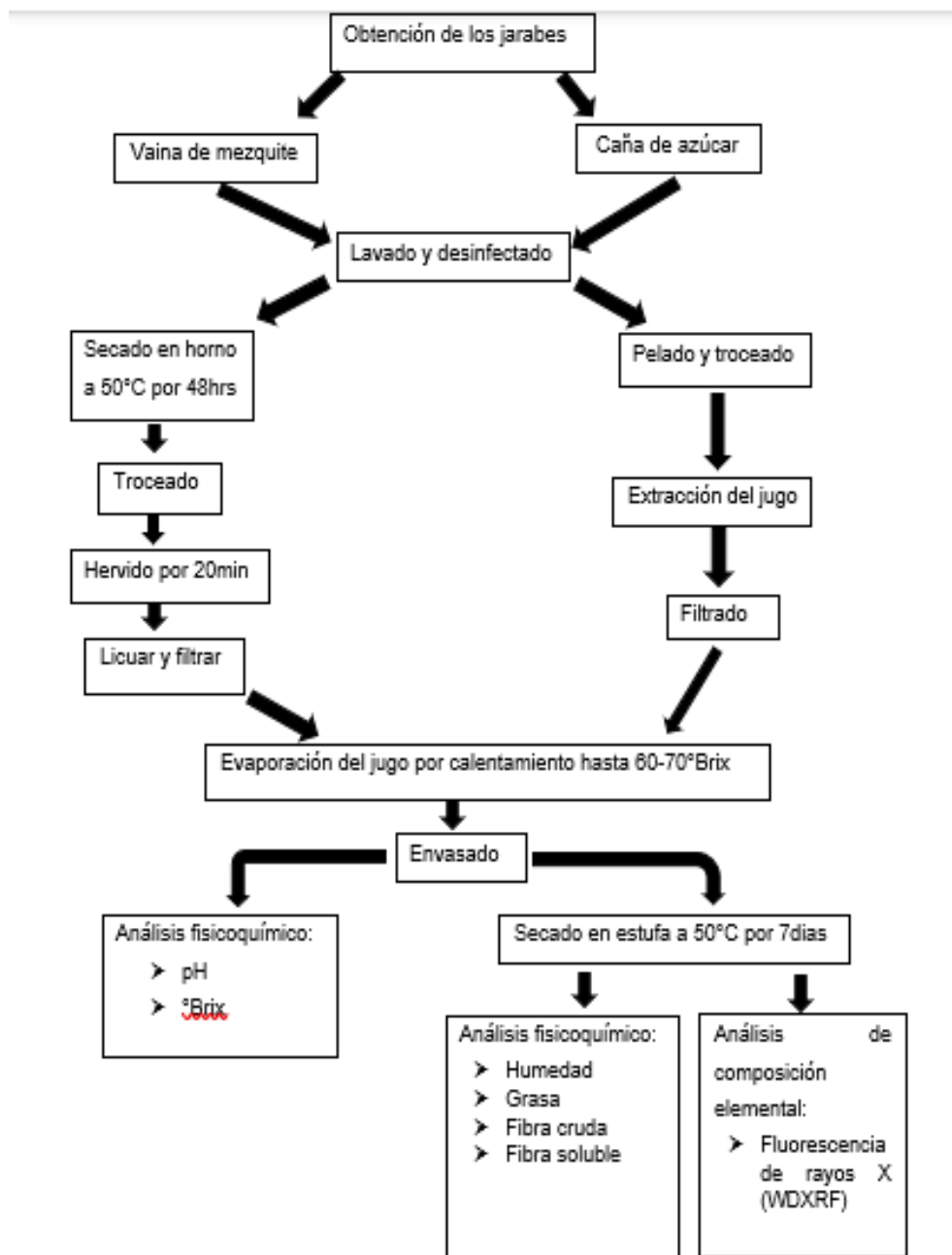
OBJETIVO GENERAL

Obtener un jarabe de vaina de mezquite y caña de azúcar para evaluar en cada uno sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener un jarabe de vaina de mezquite y caña de azúcar por evaporación del jugo.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas de humedad, °Brix, pH, grasa, fibra cruda y fibra soluble de los tres jarabes obtenidos.
- Determinar la composición elemental de los dos jarabes obtenidos mediante espectroscopia de fluorescencia de rayos X de dispersión por longitud de onda (WDXRF).

DIAGRAMA DE FLUJO



Fuente: Diseño del estudio

MATERIALES Y MÉTODOS

- Material de vidrio el necesario para cada determinación fisicoquímica y elemental.
- Material de acero inoxidable, el necesario para cada preparación de los jarabes.
- Material biológico: Vaina de mezquite sin presencia de plaga y en buen estado y caña de azúcar fresca, todas sin contaminación presente.
- Reactivos los necesarios para cada determinación grado analítico o grado alimenticio.
- Equipos como procesador de alimentos, estufa de secado, WDXRF, grasa y fibra.

Tabla 2
Métodos y referencias

Determinación	Técnica	Referencia
°Brix	Por refractómetro	(Twilight, s.f.)
%Humedad	Secado en estufa	(Nielsen, 2003).
pH	Por potenciómetro	(Nielsen,2003).
Grasa	Randall	(VELP Scientifica, s.f.)
Fibra cruda	Weende	(VELP Scientifica, s.f.)
Fibra soluble	SIGMA (Método enzimático y gravimétrico)	(SIGMA-ALDRICH, s.f.)
Elemental WDXRF	Fluorescencia de rayos X (WDXRF)	(Bruker, s.f.)

Fuente: Diseño del estudio

°Brix: La medición de Brix determina el contenido de sacarosa pura en las muestras y se representa mediante la siguiente ecuación:

$$1 \text{ grado Brix (°Bx)} = 1 \text{ g de sacarosa} / 100 \text{ g de solución}$$

Para la medición se usa un dispositivo óptico (refractómetro) en el que se coloca la muestra que se va a medir en el prisma para que dé el índice de refracción, mismo que se puede leer directamente desde la escala incorporada, mirando dentro del refractómetro.

Humedad: consiste en usar una balanza analítica para pesar las capsulas que previamente se ponen a peso contante (secado en estufa) con diferencia de 0.001 de diferencia de peso, se pesan 5g de muestra y posteriormente realizar el secado en la estufa, pesado, enfriado y finalmente se pesa la muestra para obtener el resultado. Básicamente con este método se calcula el porcentaje en agua por la perdida en peso debida a su eliminación por calentamiento.

pH: Se determina con un potenciómetro que mide la actividad del ion hidrógeno en soluciones acuosas, indicando su grado de acidez o alcalinidad expresada como pH. Para la medición se debe calibrar el electrodo del potenciómetro a dos puntos con una solución de pH conocida (4

y 7 o 10), se ajusta la temperatura y se hace la medición en la muestra dando el resultado en el lector.

Grasa: Por el método Randall se trata de una extracción en caliente donde la muestra contenida en un cartucho se sumerge en un disolvente que se encuentra en ebullición, posterior la muestra desciende para que ya o esté en contacto con el disolvente, después la muestra se extrae con vapor del disolvente que retorna por goteo para después volver a evaporar el solvente y recuperarlo.

Fibra cruda: el método analiza una muestra completamente desgrasada, misma que se digiere con ácido sulfúrico al 1.25% hirviendo para posteriormente filtrar con vacío y lavar con hidróxido de sodio, secar la muestra y calcinar para obtener el contenido total de fibra cruda.

Fibra soluble: La determinación consiste en una combinación de métodos enzimáticos y gravimétricos donde las muestras secas y desgrasadas se gelatinizan con con-amilasa y se digieren con proteasa y amiloglucosidasa para eliminar proteína y almidón de la muestra, posteriormente con etanol se precipita la fibra soluble, se filtra y lava con etanol y acetona, pasa por un secado y pesa el residuo. La muestra resultante se incinera para obtener el valor de ceniza.

La fibra soluble total es el peso del residuo menos el peso de la ceniza, entre el peso de muestra por cien.

Análisis elemental con la técnica WDXRF (fluorescencia de rayos X dispersiva de longitud de onda): Las muestras de los jarabes se analizaron mediante la técnica WDXRF. Estas muestras se secaron a 50°C durante 7 días y se trituraron en un mortero hasta obtener un polvo, las dos muestras fueron procesadas en una prensa manual y colocadas en una matriz de aluminio. El análisis cuantitativo de los elementos múltiples se realizó de acuerdo con ISO9516-1: 2003 utilizando el método QUANT-EXPRESS (parámetros fundamentales) en el rango de sodio (Na) a uranio (U) en el espectrómetro de fluorescencia de rayos X dispersivo de longitud de onda de Bruker modelo S8 TIGER de 1 kw, que dispone de detector de centelleo (Elementos pesados) y flujo (elementos ligeros), tubo de Rodio (Rh) como fuente de rayos X y goniómetro de alta presión para ángulos theta y 2 theta, con una sensibilidad de hasta 20 mg/kg. El tiempo total de análisis para cada muestra fue de 20 min. Que comprende una única calibración preparada multipropósito utilizando estándares certificados (STG2).

METODOLOGÍA

Recepción de materia prima

- Vaina de mezquite: Se recibe sin presencia de contaminación visible o podrida.
- Caña de azúcar: Se recibe en buen estado y sin aparente contaminación visible, deberán estar frescas (que no estén secas las orillas).

Lavado y desinfectado

Para cada materia prima (vaina de mezquite, caña de azúcar y manzana) se desinfecta con microdyn, agregando 1 gota por cada litro de agua, sumergiendo cada producto durante 15 min.

Acondicionamiento de la materia prima

- Vaina de mezquite: Se seca en estufa a 50°C por 48hrs, posteriormente se trocea en pedazos de aproximadamente 3cm.
- Caña: se retira la cascara y se trocea a mitades y posterior en 4 pedazos.

Obtención del jarabe

- Mezquite: En una proporción de 1kg de vaina de mezquite seca por cada 3litros de agua, se deja hervir hasta que el mezquite este totalmente suave y al tocarlo este se deshaga, para después licuar todo y filtrar con ayuda de un colador y una manta para eliminar partículas visibles del mezquite.
Una vez obtenido el jugo se lleva a reducción por evaporación del mismo hasta conseguir una consistencia viscosa.
- Caña de azúcar: con un extractor de jugo se extrae todo el jugo de la caña, pasando por un proceso de filtrado con la ayuda de un colador y una manta, posteriormente se lleva a reducción del jugo por evaporación del mismo hasta obtener una consistencia viscosa.

Análisis fisicoquímicos

pH

Se determina mediante el potenciómetro SM-3BW Medidor de pH / Mv de mesa, calibrando el equipo con pH de 4 y 10, posteriormente se hace la toma de pH en cada una de las muestras.

°Brix

Se determinan los sólidos solubles con el refractómetro Lumen RHB-82 ATC.

% de Humedad

Se determina por el método de secado en estufa con el equipo HS-CMD-52055, poniendo 5g de muestra a secar a temperatura de 50°C hasta llegar a peso constante, se realizan los cálculos con la fórmula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} + \text{crisol}}{\text{Peso de la muestra seca} + \text{crisol}} \times 100$$

Grasa

Se determina por el método RANDALL en el extractor semi-automático con solventes VELP SCIENTIFICA SER-148/6.

Previamente los vasos de recuperación de grasa se secan hasta peso contante y enfriando en el desecador para obtener su peso real.

Se pesan 5g de muestra seca a 50°C por 7 días, se tritura en mortero e introduce en los cartuchos, estos se ponen en el extractor fijados magnéticamente, se añade 70ml de éter de petróleo como solvente a 110°C para comenzar la primer fase de inmersión durante 90min, posterior a ellos se suben los cartuchos a la fase de lavado durante 30 min, pasado el tiempo se inicia la tercer fase de recuperación del solvente por condensación del hasta que esté totalmente recuperado, se retiran los cartuchos para pasarlos a estufa de secado para eliminar completamente el contenido de solvente a 105°C por una hora, se enfría en el desecador y se toma el registro del peso, así como del contenido de grasa obtenida en los vasos de recuperación de grasa para realizar los cálculos con la fórmula:

$$\% \text{ de grasa} = (M_{\text{tot}} - M_{\text{tare}}) \times 100 / (M_{\text{muestra}})$$

Dónde:

M_{muestra} = peso de la muestra considerando materia húmeda (g)

M_{tare} = peso del vaso vacío (g)

M_{tot} = peso de la taza que contiene los residuos de grasa (g)

Fibra cruda

Se determina por el método Weende en el extractor de solvente VELP SCIENTIFICA SER-148, que se basa en la solubilización de compuestos no celulosos mediante soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de potasio a 1.25% cada uno.

Se pesa 1g de muestra de cada jarabe, seca a 50°C por 7 días, triturada en un mortero y desgrasada, se somete a ebullición con ácido sulfúrico al 1,25% durante 30min, posteriormente se drena todo el contenido del ácido y se realizan 3 lavados con agua desionizada caliente, en cada una introducir aire comprimido en el equipo para quitar todos los residuos del crisol.

Luego se agrega 150ml de hidróxido de potasio (KOH) al 1.25% previamente calentado y nuevamente se deja hervir durante 30min, pasado el tiempo se drena el KOH y se vuelven a hacer los 2 lavados con agua desionizada caliente y tercer lavado con agua fría, cada una introduciendo aire comprimido para remover los residuos. Por último, se hacen otros tres lavados con 25ml de acetona, revolviendo el contenido con aire comprimido.

Se retiran los crisoles y se meten a secar en el horno a 105°C por una hora, se enfría en un desecador, se toma el peso para posteriormente someter a calcinación en una mufla a 550°C durante tres horas, se enfrían en el desecador, se toma el peso y realizan los cálculos correspondientes con la fórmula:

$$\%Fibra\ cruda = \frac{F_1 - F_2}{F_0} \times 100$$

Dónde:

F₀= Peso de la muestra inicial (seca)

F₁= Peso de la muestra después del proceso de lavado y secado

F₂=Peso de la muestra calcinada

Fibra soluble

Se sigue el método enzimático-gravimétrico sugerido por Sigma-aldrich, donde se realiza la prueba por duplicado, se pesa 0.5g de muestra previamente secada y desgrasada en un vaso de precipitado, se agrega 25ml de fosfato a pH 6, se agrega 0.5ml de -amilasa. Se tapa y somete a baño maría con agua hirviendo con agitación por 18min. Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente para ajustar el pH a 7.5±0.2 con 5ml de NaOH al 0.275N.

Se prepara una solución de 0.025g/ml de proteasa en buffer de fosfato y agregar de esta solución 0.5ml a cada vaso de precipitado. Se somete a baño maría a 60°C con agitación continua por 30min y se enfría a temperatura ambiente y se ajusta el pH de 4 a 4.6 con 5ml de HCl a 0.325M.

Se agrega a esta misma muestra 0.5ml de amiloglucosidasa y se somete nuevamente a baño maría a 60°C con agitación continua por 30min, se enfría la muestra a temperatura ambiente y se agrega 4 volúmenes de etanol al 95% para dejar precipitar durante toda la noche.

Se pone a peso constante papel filtro para posteriormente filtrar todo el precipitado y realizar 3 lavados con 10ml de etanol al 78%, 2 porciones de 10ml de etanol al 95% y 2 porciones de 5ml de acetona, el papel filtro con el residuo se seca en horno de aire caliente a 105°C durante toda la noche, se toma el peso y se realizan los cálculos de residuo por diferencia de peso.

El residuo se somete a calcinación en una mufla a 550°C por 5hrs para obtener el porcentaje de ceniza y realizar los cálculos con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FS} = [(R-C) / PM] \times 100$$

Dónde:

FS=fibra soluble

R= peso del residuo (mg)

C= peso de la ceniza (mg)

PM= peso de la muestra (mg)

Análisis de composición elemental por fluorescencia de rayos X de dispersión por longitud de onda.

La muestra seca de los dos jarabes se analiza con el equipo S8 TIGER Serie 2 WDXRF, para el análisis químico-elemental tanto cualitativo como cuantitativo, de elementos comprendidos desde el Sodio (Na) hasta el Uranio (U).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Jarabes

Se obtuvieron los dos jarabes de vaina de mezquite (Fig. 4) y caña de azúcar (Fig. 5) con las siguientes características físicas:

Tabla 3
Características físicas de los jarabes de mezquite y caña de azúcar

Característica	Mezquite	Caña de azúcar
Color	Café oscuro	Café claro
Olor	Ligeramente amaderado	Dulce-acaramelado
Sabor	Ligeramente amargo	Dulce
Textura	Suave y densa	Suave y densa

Fuente: Resultados de laboratorio

Cada jarabe obtenido tiene un color característico, siendo el jarabe de caña el más claro en comparación al jarabe de mezquite al cual se le confiere un color más oscuro debido a la tonalidad de color que tiene la propia vaina de mezquite, en cuanto al sabor es más concentrado llegando a dar notas ligeramente amaderadas, caso que en el jarabe de caña el sabor es más ligero y aroma a dulce (aroma al azúcar de mesa). Ambos tienen una consistencia viscosa similar a la que tienen los jarabes que comúnmente conocemos.

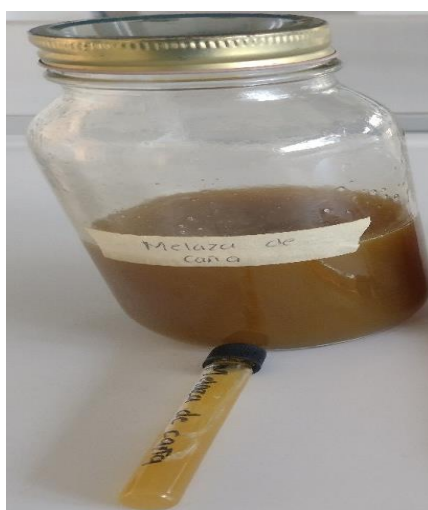


Fig. 4 Jarabe de Caña de azúcar
Fuente: Resultados de laboratorio



Fig. 5 Jarabe de mezquite
Fuente: Resultados de laboratorio

Análisis fisicoquímicos

Tabla 4
Resultados de análisis fisicoquímicos

Característica	Mezquite	Caña de azúcar
pH	4.82	4.31
°Brix	68	70
Humedad	35.18%	24.96%
Grasa	0.83%	0.95%
Fibra cruda	0.086%	0.10%
Fibra soluble	17.53%	23.95%

Fuente: Resultados de laboratorio

De acuerdo al estudio comparativo de jarabe de agave azul con otros jarabes naturales, realizado por Mellado y López (2013), determinó que para el contenido de sólidos solubles totales expresados en grados Brix fue de 77°Brix para el jarabe de maíz y de 79°Brix para el jarabe de caña de azúcar, por lo que, el jarabe de mezquite se encuentra por debajo de contenido de SST (sólidos solubles totales) y para el jarabe de caña de azúcar de igual manera se encuentra por debajo en comparación con el jarabe de caña, sin embargo la norma mexicana NMX-F-169-1984, especifica que los denominados jarabes deben contener como mínimo 60°Brix, de esta manera tanto el jarabe de mezquite como el de caña de azúcar cumplen este parámetro. Bajo esta misma referencia, para el caso del pH, indica que los jarabes se deben encontrar entre 3 y 7, para el caso de Mellado y López (2013), los jarabes analizados están en un rango de 3.72 a 5, por lo que los valores obtenidos para el jarabe de mezquite y caña son de 4.82 y 4,31 respectivamente, por lo tanto, coinciden con los resultados reportados por ambas referencias, pudiendo definir que los jarabes son ligeramente ácidos.

El contenido de humedad obtenido en el jarabe de mezquite y caña de azúcar fue de 35.18% y 24.96% respectivamente, demostrando que los valores en el caso del jarabe de caña son aceptables y para el jarabe de mezquite son más elevados comparándolos con lo especificado en la NOM-003-SAGARPA-2016 para jarabe de agave, misma que especifica un rango de entre 20 y 28 % de humedad, siendo así la misma norma indica que es un parámetro crítico de calidad e inocuidad en el jarabe, esto debido a que el incremento de humedad favorece la aparición y proliferación de bacterias que pueden dañar las características físicas, sensoriales y de inocuidad del jarabe, principalmente el jarabe de mezquite es el que se puede ver más afectado en caso de una contaminación o proliferación de microorganismos patógenos.

La investigación realizada por Manrique, et al. (2005) donde evalúa parte de la composición química del jarabe de yacón, indica que el mismo contiene menos del 1% de contenido de grasa al igual que los jarabes de mezquite y caña de azúcar analizados en la presente investigación, de los cuales el jarabe de caña tiene más contenido de grasa con 0.95% en comparación al jarabe de mezquite que contiene 0.83%. La OMS (2018) indica que se debe reducir el consumo total de grasa a menos del 30% de la ingesta así se contribuye a prevenir el aumento insalubre de peso en la población en general, por lo que actualmente se busca consumir alimentos en los que el contenido de grasa sea relativamente bajo, como es el caso de los jarabes de mezquite y caña, por otro lado, de acuerdo a Cabezas et al., 2016, en el artículo aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial, dice que las grasas constituyen la reserva energética más importante del organismo ya que aportan 9 kilocalorías por gramo (Kcal/g) y transportan vitaminas liposolubles que se encuentran en los alimentos, de ahí la importancia de su consumo moderado, bajo este rubro los jarabes son aptos para su consumo por su poco aporte de grasas.

La fibra cruda que contiene un alimento son todas aquellas sustancias orgánicas no nitrogenadas, que no se disuelven tras hidrólisis sucesivas; una en medio ácido y otra en medio alcalino, por tanto, el principal componente es la celulosa, hemicelulosas y lignina (García et al., 2008), este tipo de fibra ayuda a acelerar el tránsito intestinal evitando así el estreñimiento según Puga en la revista BMeditores (2020). Siendo así para el caso del jarabe de caña contiene 0.10%, representando tener un mayor porcentaje comparado con el jarabe de mezquite que apenas contiene un 0.086%, sin embargo, estos resultados son menores comparándolos con el jarabe de yacón que contiene 3.09% según Isuiza (2004).

Al tener un bajo contenido de fibra cruda se optó por determinar fibra soluble por método enzimático, debido a que en el proceso de obtención del jarabe parte de la fibra pudo haberse solubilizado y por ende al realizar un método gravimétrico por hidrólisis ácida y alcalina no se contabiliza en fibra cruda.

Por tanto haciendo referente a la fibra soluble, se obtuvo un 17.53% en el jarabe de mezquite y 23.95% en el jarabe de caña, siendo este último el que tiene mayor contenido de fibra lo cual se puede corroborar porque las cenizas representan el contenido de minerales de los alimentos (Márquez, 2014) dónde en la tabla 5, se reportó que quien tiene mayor contenido de minerales es el jarabe de mezquite, por consecuente el contenido de fibra soluble es menor ya que en los cálculos este valor de ceniza se debe restar del residuo de fibra.

Por otro lado, el jarabe de yacón reportado por Manrique, et al. (2005) tiene 10.9% esto, teniendo un contenido alto en FOS (fructooligosacáridos) que se reconocen como un tipo de fibra soluble (Coussement, 1999), por tanto, se considera que el porcentaje de fibra es alto como el valor final que alcancen los FOS en el jarabe de yacón, al compararlo con los jarabes de mezquite y de caña se observa que ambos jarabes son mejores en el contenido de fibra soluble, misma que se caracteriza por su capacidad para formar geles, propiedad que hace más lento el vaciamiento gástrico y la absorción de nutrientes en el intestino, tales como los azúcares (Almeida et al., 2014), representando ser beneficiosa al favorecer un control en los niveles de glucosa y disminuyendo la concentración de colesterol en sangre.

Análisis de composición elemental (WDXRF)

Tabla 5.

Contenido de minerales en jarabe de mezquite y caña de azúcar vs jarabe de henequén, yacón y agave

		Jarabe											
Símbolo	Elemento	Mezquite			Caña			Henequén		Yacón		Agave	
		%	±	mg/100g	%	±	mg/100g	%	mg/100g	%	mg/100g	%	mg/100g
Macroelementos													
K	Potasio	0.907	0.03	907	0.548	0.03	548	0.0665	66.5	<1	<1000	0.0095	9.05
Ca	Calcio	0.382	0.025	382	0.375	0.02	375	0.3625	362.5			0.0083	8.33
P	Fósforo	0.042	0.014	42	0.028	0.02	28	NR	-			-	-
S	Azufre	0.283	0.019	283	0.292	0.02	292	NR	-			-	-
Microelementos													
Cu	Cobre	0.004	0.002	4	0.006	0	6	0.0085	0.85			-	-
Zn	Zinc	0.002	0.001	2	<LOD	0	-	0.0993	9.9			-	-

Fuente: Resultados de laboratorio, Abundis (2007), Manrique et al., 2005 y Rendón et al., 2007.

El cuerpo no es capaz de producir minerales, pero es indispensable para el buen funcionamiento del organismo, por lo que el suministro de estos elementos debe ser mediante la alimentación (KESSENICH, 2008), de ahí la importancia de consumir alimentos que tengan gran contenido de minerales. Dentro de los minerales que se encuentran en mayor proporción tanto en el jarabe de mezquite como el de caña son el calcio (Ca), que se encarga de constituir a los tejidos y fluidos, ayuda a la proliferación celular, secreción hormonal, contracción muscular, coagulación sanguínea y la más importante que es la de mantener la calidad y estructura de la masa ósea (Valencia et al., 2011). También se encuentra el potasio (K), que al igual que el Ca forma parte de la contracción muscular, a la función digestiva, cerebral y de los nerviosa (NutriFacts, s.f.), uno más es el azufre (S), forma parte de la estructura de las

proteínas, por ello participa en la formación de enzimas, anticuerpos, actividad de los tejidos, además es necesario para producir insulina (Reardon y Troxler, s.f.).

El jarabe de mezquite contiene más minerales a comparación del jarabe de caña, se sabe que el consumo de minerales es de vital importancia para las distintas funciones del organismo como ejemplo, la formación de huesos y células sanguíneas, producción de hormonas y buena actividad de los órganos, siendo los minerales calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio y cloro los que el organismo necesita en mayor cantidad (Secretaría de Salud, 2016), por consiguiente el mezquite presenta ser una buena opción por contener una mayor cantidad de K, Ca y P cosa que el jarabe de caña contiene en menor cantidad, aun así el jarabe de caña presenta en mayor cantidad otros minerales como S y Cu, representando así a ambos jarabes como ricos en minerales en comparación al jarabe de yacón que solo contiene potasio, según lo reportado por Manrique et al., (2005).

En la investigación realizada por Rendón, et al. (2007), indica que el contenido de minerales como el Ca, K y Cu en el jarabe de henequén es menor comparándolo con el jarabe de caña y de mezquite, solo para el caso de Zn es el que se encuentra en mayor cantidad, dicho elemento forma parte de numerosas enzimas en el cuerpo humano, pudiendo tener un rol catalítico, estructural o regulador en el cuerpo (López et al, 2010)., sin embargo, los jarabes de mezquite y de caña cuentan con los minerales P y S, caso que en el jarabe de henequén no contiene.

Por otro lado, en los mercados hay jarabe de agave comúnmente conocido como alternativa natural, siendo usado como endulzante natural de diversos tipos de alimentos, según Juárez (2020) en la revista The Food Tech, sin embargo las propiedades nutritivas a nivel de minerales se queda muy corta comparándolo con el jarabe de agave y de mezquite, debido a que solo contiene 9.05mg/100g de potasio y 8.33mg/100g respectivamente según lo reportado por Abundis (2007), mientras los de mezquite y caña los contienen en mayor proporción, además de incluir P,S, Cu, Zn.

CONCLUSIÓN

Se obtuvieron dos jarabes, uno de vaina de mezquite y otro del jugo de caña de azúcar, de acuerdo con los estudios fisicoquímicos realizados se determina que los jarabes de mezquite y caña de azúcar son mejores en sus propiedades nutrimentales de contenido de fibra soluble y minerales en comparación con otros jarabes como el de yacón, agave y henequén y para las propiedades fisicoquímicas de pH y °Brix concuerdan con los obtenidos para ser considerados jarabes.

Al realizar la comparación entre los dos jarabes de acuerdo con las propiedades nutrimentales se tiene que, en el aspecto de fibra soluble, el jarabe de caña es mucho mejor que el jarabe de mezquite debido a que aportará mayor sensación de saciedad, además de contribuir a reducir el colesterol y controlar los picos de glucosa.

Para la parte de minerales el cual fue un estudio (análisis elemental WXDRF) que planteó un plus en la realización de este trabajo ya que permitió conocer específicamente los minerales presentes en cada jarabe, teniendo mayor contenido de minerales en el jarabe de mezquite, mismos que tienen un aporte benéfico en el organismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abundis Vargas, B. (2007) Catálogo de propiedades nutrimentales, nutracéuticas y medicinales del agave. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Pg. 3 y 4
- Aguirre Ramírez, M.E. (2011). Jugo de caña de azúcar envasado en vidrio. [Tesis para licenciatura de Tecnóloga en Alimentos] Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Alonso, J. (2017). Bebidas tradicionales y extravagantes de Guanajuato. Disponible en: <https://www.travelreport.mx/guanajuato/bebidas-tradicionales-de-mexico-guanajuato-gastronomia/> Recuperado el 01 de julio de 2020.
- Altamirano, R. (2020). *Uso del mezquite (Prosopis spp.) como recurso alimenticio*. Universidad de la Cañada, Instituto de Tecnología de los Alimentos. <http://doi.org/10.35429/H.2020.9.130.147>
- Altamirano, R., C. (2000). Uso del mezquite (Prosopis spp.) como recurso alimenticio. Universidad de la Cañada, Instituto de Tecnología de los Alimentos, Cap. 10. Doi. 10.35429/H.2020.9.130.147
- Arvizu, D. E., Rodríguez, G., Montes ,N., Alemán, S.J., Soler, A., Montes, N. y Tellez, S. (2016). Determinación y cuantificación de azúcares totales en jarabes de sorgo dulce cañero y una variedad experimental. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Vol. 1, No. 2. 679-684.
- Barba de la Rosa, A.P., Frias,, J.T., Olalde,, V., y González, J. (2006). Processing, nutritional evaluation and utilization of whole mesquite flour (Prosopis laevigata). Journal of Food Science, 71, 315–320.
- Benjumea, M. y Correa, I. (2011). Edulcorantes. Disponible en http://promocionsalud.ucaldas.edu.co/downloads/Revista%206_6.pdf. Recuperado el 15 de noviembre de 2022.
- Bigne, F., Puppo, M.C., & Ferrero, C. (2018). Mesquite (Prosopis alba) flour as novel ingredient for obtaining a “panettone-like” bread. Applicability of part-baking technology. LWT- Food Science and Technology, 89, 666-673

Bruker (s.f.) S8 TIGERX-Ray Espectrómetro,
<https://www.manualslib.es/manual/86523/Bruker-S8-Tiger.html#manual>

Cabezas Zabala, C.C., Hernández Torrez, B.C. y Vargas Zárate, M. (2016). Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial. *Rev. Fac. Med.* Vol. 64 (4) 761-8.

Carnero, E. (abril 2023). 10 edulcorantes naturales para sustituir el azúcar, revista Saber vivir, disponible en: https://www.sabervivirtv.com/nutricion/edulcorantes-naturales-para-sustituir-azucar_1828, recuperado el 05 de julio de 2023.

Carrillo, F., A., Gómez, L., F., Arreola, A., J. (2007) *Efecto de poda sobre potencial productivo de mezquitales nativos en la comarca lagunera*, México. *Rev. Chapingo Serie Zona Árida* Vol. 6, pp. 47-54. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545068006>, recuperado el 15 de julio del 2023.

Chaves, M. (2004) La caña de azúcar como materia prima para la producción de alcohol carburante (1ª ed.) Liga agrícola industrial de la caña de azúcar, Disponible en: <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/otros/canadazucar-materiaprima-producciondalcohol-carburante.pdf>, recuperado el 21 de septiembre del 2023

Conasi, A. L. (Junio 2023). Endulzantes naturales: ranking de los mejores y más saludables - Conasi. Blog Conasi., Disponible en: <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/consejos-de-salud-consejos-de-salud/endulzantes-naturales/>, recuperado el 18 de septiembre de 2023.

Coussement, P. (1999). Inulin and oligofructose: safe intakes and legal status. *Journal of Nutrition*, 129(7), 1412S-1417S. <https://doi.org/10.1093/jn/129.7.1412s>

Duarte, O. J., González J. D. (2019). Guía técnica de cultivo de caña de azúcar. Agencia de Cooperación Internacional del Japón, disponible en: https://www.jica.go.jp/Resource/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_01.pdf, recuperado el 12 de septiembre del 2023.

Espinosa, L. (julio 2021). *El azúcar, los Jarabes y siropes*. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/514022984/5-El-Azucar-Los-Jarabes-y-Siropes>, recuperado el 05 de julio del 2023.

Fernández Ruíz, R. (2008). La espectroscopía de rayos X (XRF). Obtenido de: <http://ramontxrf.260mb.net/TXRF2.html?i=1>, recuperado el 20 de octubre de 2023.

Fundación Española para el desarrollo de la nutrición animal (FEDNA), 2021. Melazas de caña. Disponible en: https://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/melazas-de-ca%C3%B1a recuperado el 23 de septiembre del 2023

González, M.A. (2019). Reproducción asexual o multiplicación vegetativa. Obtenido de: <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema22/tema22-multiplicacion-vegetativa.htmk>, recuperado el 16 de agosto del 2023.

García, J.M., García. M., y García J. (2013). *Una visión global y actual de los edulcorantes. Aspectos de regulación*. Scielo. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112013001000003

García Ochoa, O.E., Infante Rivera, R.B. y Rivera, C.J. (2008). Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anales Venezolanos de nutrición*. Vol. 21 n.1. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522008000100005

Google. (s.f.). Imagen de WDXRF. Recuperado el 10 de mayo, 2023, de <https://investigacion.us.es/docs/web/files/parteiixrf.pdf>

Grados, N., Ruiz, W., Cruz, G., Díaz, C., y Puicón, J. (2000). Productos industrializables de la algarroba peruana (*Prosopis pallida*): algarrobina y haría de algarroba. *Multequina*, 9(2), 119-132.

Hernández Melchor, GI; Salgado García, S; Palma López, DJ; Lagunes Espinoza, LC; Castelán Estrada, M y Ruiz Rosado, O. (2008). Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas. Scielo. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008001100016, Recuperado el 15 de octubre del 2023.

- Herrera, A.C. (2011). Estudio comparativo de métodos para la determinación de sacarosa y azúcares reductores en miel virgen de caña utilizados en el ingenio PICHICHÍ S.A. [Tesis de licenciatura], Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías.
- ISO 9516-1:2003. Determinación de diversos elementos mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/27131.html>
- Isuiza, G., (2004). Ensayos preliminares para la obtención de miel a partir de yacón (*Polimnia sonchifolia*) y su caracterización. [Tesis de licenciatura] Universidad Nacional de San Martín, facultad de ingeniería agroindustrial, Perú.
- Juárez, C. (junio 2020). Jarabe de agave, alternativa natural. Revista The Food Tech. Disponible en: <https://thefoodtech.com/ingredientes-y-aditivos-alimentarios/jarabe-de-agave-alternativa-natural/>, recuperado el 03 de noviembre del 2023.
- KESSENICH (2008) Cathy. Alternative Choices For Calcium Supplementation. En: The Journal for Nurse Practitioners. January. Vol. 4 (1) p. 36 – 39.
- López, D., Castillo, C. y Diaz, D. (2010). El zinc en la salud humana. Rev Chil Nutr Vol. 37(2), Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182010000200013#:~:text=El%20zinc%20es%20un%20nutriente,y%20en%20el%20sistema%20inmune, Recuperado el 15 de noviembre del 2023.
- Manrique, I., Párraga, A. y Hermann, M. (2005). Jarabe de yacón. Principios y procesamiento. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú.
- Márquez, B.M. (2014). Cenizas y grasa: teoría del muestreo. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8bd5b97-f205-4b7e-bcd6-b34d7ab4fbe2/content#:~:text=Las%20cenizas%20representan%20el%20contenido,materia%20seca%20de%20los%20alimentos>, recuperado el 28 de septiembre del 2023.
- Mellado, E. y López, M.G. (2013). Análisis comparativo entre jarabe de agave azul (Agave tequilana Weber var. azul) y otros jarabes naturales. Scielo. Agrociencia vol.47(3). Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000300003, recuperado el 18 de septiembre del 2023.

Modor Intelligence (s.f.) Mercado de jarabe: crecimiento, tendencias, impacto de COVID-19 y pronósticos (2022 - 2027) Disponible en: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/syrups-market>, recuperado el 30 de agosto del 2023.

Molina, E. (s.f.). Reemplazo de azúcar, edulcorantes naturales continúan siendo tendencia. Disponible en: <https://enalimentos.lat/articulos/6949-reemplazo-de-azucar-edulcorantes-naturales-continuan-siendo-tendencia.html>, recuperado el 20 de mayo de 2023

Nielsen, S. (2003). *Análisis de los alimentos. Manual de laboratorio* (1ª ed.) Acribia S. A.

NMX-F-066-S-1978. Determinación de cenizas en alimentos. Foodstuff determination of ashes. normas mexicanas. Dirección general de normas. Disponible en <https://xdoc.mx/documents/nmx-f-066-s-1978-determinacion-de-cenizas-en-alimentos-5f9b9221d6381>, recuperado el 16 de marzo del 2023.

NMX-F-169-1984. Alimentos para humanos. Jarabes. Foods for humans. Syrups. Normas mexicanas. Dirección general de normas. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-169-1984.PDF>. Consultado el 08- mayo-2015

NORMA Oficial Mexicana NOM-003-SAGARPA-2016, Relativa a las características de sanidad, calidad agroalimentaria, autenticidad, etiquetado y evaluación de la conformidad del jarabe de agave, Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5461591&fecha=18/11/2016

NutriFacts (s.f.) Potasio. Disponible en: https://www.nutri-facts.org/en_US/nutrients/items/minerals/potassium.html, recuperado el 21 de noviembre 2023.

OMS (2018). Alimentación sana. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>, recuperado el 28 de agosto del 2023.

- Ortiz, C. L.A. (2019). Caracterización fisicoquímica de la harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) y evaluación de su efecto en productos de panificación. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Cañada, México.
- Padilla Cuevas, J., Madeira, H., Merino García, A. y Hidalgo, C. (2020). Análisis de los elementos minerales esenciales y tóxicos en tejidos vegetales. *Agrociencia* 54(3):413-434. <http://dx.doi.org/10.47163/agrociencia.v54i3.1916>
- Peña, A. C. (2017). *Evaluación del proceso de obtención de jarabes a partir de mieles de caña panelera*. [Tesis de maestría en ciencia y tecnología de alimentos] Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63953/527059812017.pdf?sequence=1>, recuperada el 21 de septiembre del 2022.
- Pereira J., Albuquerque M.L., Santana L.A., Silva A., de Oliveira H.G., Santos M., Presidio P.J. y Batista A. (2013) *Mesquite pod meal in diet for lacting goats*. *Revista Brasileira de Zootecnia* Vol 42(2): pp.102-108. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/YfBzrBCSbymCkNW5scjXTVd/?format=pdf&lang=en>, recuperado el 24 de mayo del 2023.
- Puga, F. (mayo 2020). Concentrados de fibra cruda: nuevas fuentes extraordinarias de fibra para cerdas. *Revista BMeditores*. Disponible en: <https://bmeditores.mx/porcicultura/concentrados-de-fibra-cruda-nuevas-fuentes-extraordinarias-de-fibra-para-cerdas/>, recuperado el 21 de septiembre del 2023.
- Pinero Corredor, M.P. (2023). Caña de azúcar: valor nutricional y propiedades. Disponible en: <https://mejorconsalud.as.com/cana-azucar/>, recuperado el 18 de abril de 2023.
- Prokopiuk D. B. (2004). Sucedáneo del café de algarroba (*prosopis alba* Griseb). [Tesis Facultad de Doctorado] Universidad de Valencia.
- Prokopiuk D., Cruz G., Garro O. y Chiralt A. (2000). Estudio comparativo entre frutos de *prosopis alba* y *prosopis pallida*. *Multeq*. Vol 9, pp. 35-45.
- Reardon J.W. y Troxler S. (s.f.). ¿Tenemos suficientes minerales y micro-minerales en nuestra dieta?. Departamento de Agricultura y Servicios al Consumidor de Carolina del Norte,

división de protección de alimentos y medicamentos. Disponible en: <https://www.ncagr.gov/fooddrug/espanol/documents/Minerales.pdf>, recuperado el 25 de junio del 2023.

Reddy, G. V. N.; Reddy, M. R. and Rao, A. M. 1990. Effect of particle size on physical characters and nutrient utilization of *Prosopis juliflora* pods in sheep. *Ind. J. Animal Nut.* 7(2):123-126.

Rendón L. A., Magdub A., Hernández L. y Larqué A. (2007). El jarabe de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.). *Revista Fitotec. Mex.* Vol. 30 (4): pp. 463 – 467.

Resendez. V. K. (2014). Evaluación del daño por insectos en la vaina de *prosopis laevigata* en una zona mezquitera del estado de Durango. [Tesis de maestría en ciencias de gestión ambiental] Instituto Politécnico Nacional de Durango.

Rosselló, J. (febrero 2022). *Jarabes y siropes ecológicos, sus virtudes curativas*. *Bioeco actual*. Disponible en: <https://www.bioecoactual.com/2022/02/19/jarabes-siropes-ecologicos-virtudes-curativas>, recuperado el 12 septiembre del 2022.

Rodríguez F.A., Rendón J.A., Álvarez F.G. y García J.C. (2018) Digestibilidad in vitro de una ración a base de vaina de mezquite, ensilado de maguey y nopal para la producción de leche en cabras. *Avances de la investigación sobre producción animal y seguridad alimentaria en México*. (1ª ed) Morelia Michoacán, México. pp: 533-538

Ruiz. T. D. 2011. *Uso potencial de la vaina de mezquite para la alimentación de animales domésticos del altiplano potosino*. [Tesis de título facultad de maestría en ciencias ambientales] Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3648>

Secretaría de Salud (2016). Los minerales en la dieta diaria. <https://www.gob.mx/salud/articulos/los-minerales-en-la-dieta-diaria#:~:text=Los>

Torres, A. (2009). Uso del mezquite como fuente de polisacáridos de alto valor agregado. SEMARNAT, Laboratorio de Biopolímeros. Disponible en: https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/foros/Mezquite/USO_DEL_MEZQUITE_COMO

_FUENTE_DE_POLISACARIDOS_DE_ALTO_VALOR_AGREGADO.PDF,
recuperado el 21 de noviembre del 2023.

Talpada PM, Pendya PR, Patel GR, Patel DC, Desai M (2002) Utilization of complete feed using Prosopis juliflora pods as a ration of growing crossbred calves. Indian Journal of Animal Nutrition 19: 1-6.

Twilight. (s.f.). *Refractómetro MASTER-3a*. <https://twilight.mx/manuales/AT-MASTER-a-48-MASTERA.pdf>

Valencia García, F.E., Morales Román, M.O. y Cardona Sánchez, D.P. (2011). El calcio en el desarrollo de alimentos funcionales. Revista Lasallista de Investigación, vol. 8, núm. 1, enero-junio, 2011, pp. 104-116 Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69522600012>

VELP Científica. (s.f.). *Manual de uso, método randall*. <https://www.velp.com/es-sa/ser-148-serie.aspx>

VELP Científica. (s.f.). *Manual de uso, método weende*. <https://www.velp.com/es-sa/ser-148-serie.aspx>

Valencia, A. y Zapata, C. (2014). *Remoción del Calcio y Magnesio de la melaza para el mejoramiento del proceso de Fermentación*. [Tesis de licenciatura]. Biblioteca de Ingeniería Química UNT. https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3581/ValenciaLescano_A%20-%20ZapataSandoval_C.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Valenzuela. N. I. M., Trucio. C. R., Rios. S J., Flores H. A., Gonzales. B. J. (2011). - Caracterización desotermica y delimitación de rodales de mezquite (prosopis sp) en el estado de Coahuila. Revista Chap.Ser.Cien. Forest. Amb, Vol, xvii, pp. 87-96.

Valenzuela, R.M. (2010). Desarrollo y evaluación física, química y sensorial de un jarabe de sacarosa con pulpa de café saborizado. [Tesis Ingeniero químico] Zamorano, Honduras: Escuela agrícola panamericana.

Villalba, M. (Marzo 2017). *Consumidor, azúcar y edulcorantes, algunas claves para la innovación en alimentación*. Ainia. Disponible en: <https://www.ainia.es/ainia-news/azucar-edulcorantes-innovacion-alimentacion/>, recuperado el 17 de septiembre del 2022.