

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Obtención de azúcares de interés alimenticio a partir de residuos de
melón (*Cucumis melo L.*)

Por:

María Concepción Peralta Soriano

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Obtención de azúcares de interés alimenticio a partir de residuos de
melón (*Cucumis melo L.*)

Por:

MARÍA CONCEPCIÓN PERALTA SORIANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Asesor Principal



Dr. Armando Robledo Olivo

Co-asesor



Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Co-asesor



M.C. Sarahí del Carmen
Rangel Ortega

Co-asesor



Dra. Dolores Gabriela
Martínez Vázquez



Dr. José Dueñez Alanís

Coordinador de la división de ciencia animal

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2020

AGRADECIMIENTOS

AL DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Por haberme permitido realizar mi trabajo de investigación de tesis, y por el apoyo brindado durante mi estancia en la universidad.

A mis profesores

Por el conocimiento que me transmitieron durante la carrera, por el compromiso que tiene para con los alumnos, por siempre seguir preparándose en su formación profesional. En especial al Dr. Armando Robledo Olivo, por ser mi asesor en este trabajo y por permitirme trabajar en esta investigación.

A la profesora Sara Minerva García Escudé

Por todo su apoyo, comprensión, cariño y por ser una segunda madre, le estaré siempre agradecida por todo lo que ha hecho y sigue haciendo por mí.

A la Ing. María del Pilar Marín por el apoyo recibido durante el desarrollo del trabajo realizado en el laboratorio de Fermentaciones del departamento de Alimentos.

A mi familia

En especial a mi madre Margarita Soriano Sierra y mi hermano Francisco Peralta por todo su cariño y apoyo durante mi estancia en la universidad.

A mis amigos

En especial a Lucio García por todo su apoyo y cariño. Agradezco a Jesús Vargas Arellano por su apoyo incondicional, por aconsejarme y ser como un hermano, sin duda le estaré eternamente agradecida por todo lo que ha hecho por mí.

Agradezco a aquellos que sin duda alguna logramos formar una pequeña familia durante nuestra etapa universitaria, por sus ocurrencias, por apoyarme y motivarme a seguir adelante, en fin, gracias a ustedes: Ana Isabel Reyes, Héctor Reyes Cardiel, Rubí Aguilar, Jahzeel Juárez, Mayra Verónica, Gerardo Cordero, Uriel Martínez, Uriel Méndez, Ofelia Dionicio, sin duda me llevo gratos recuerdos de ustedes.

DEDICATORIA

A Dios que me ha dado la oportunidad de estar aquí.

A mi Padre

Por darme todo el amor, apoyo y por toda la sabiduría que me dejó. Gracias infinitas por apoyarme en cada paso que di y ahora sé que desde allá arriba seguirás guiando mis pasos.

A mi Madre

La mujer más valiente que he conocido, gracias por todo el amor, apoyo, cariño y sobre todo por la confianza que me brindaste para seguir mis sueños. Eres mi fuerza, mi inspiración y mis ganas de salir adelante.

A mis hermanos

Principalmente a mi hermano Francisco, gracias por todo el apoyo y amor. Gracias por ser mi segundo papá. Te admiro y amo infinitamente.

A mis hermanas Julia, Elsa, Gloria, gracias por apoyarme a cumplir mis sueños, por sus consejos y por todo su amor.

A mi hermano Carlos, mi pequeño gracias por tu amor, por darme ánimos para salir adelante, por tu cariño, por cuidarme y protegerme siempre.

A mis sobrinos

Por ser mi motor, por el amor que me brindan, por siempre alegrarme en los días más oscuros. Sin duda el mejor regalo que pudieron darme mis hermanos.

“La familia es una de las obras maestra de la naturaleza”

George Santayana

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE TABLAS | IV |
| ÍNDICE DE FIGURAS | V |
| ÍNDICE DE GRÁFICAS..... | VI |
| 1. RESUMEN. | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓN. | 3 |
| 3. JUSTIFICACIÓN..... | 5 |
| 4. HIPÓTESIS..... | 5 |
| 5. OBJETIVOS..... | 6 |
| 5.1. OBJETIVO GENERAL..... | 6 |
| 5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 6 |
| 6. ANTECEDENTES..... | 7 |
| 6.1. Agroindustria..... | 7 |
| 6.2. Residuos agroindustriales y su impacto ambiental..... | 7 |
| 6.3. Melón (<i>Cucumis melo L.</i>)..... | 8 |
| 6.4. Variedades de Melón..... | 9 |
| 6.4.1. Melón amarillo..... | 9 |
| 6.4.2. Melón verde español..... | 10 |
| 6.4.3. Melón Cantaluop..... | 10 |
| 6.4.4. Melón Honeydew..... | 11 |
| 6.4.5. Melón Galia..... | 11 |
| 6.5. Producción de melón en Coahuila..... | 12 |
| 6.6. Comparación de la biomasa lignocelulósica..... | 12 |
| 6.6.1. Celulosa..... | 12 |
| 6.6.2. Hemicelulosa..... | 14 |

| | |
|--|----|
| 6.6.3. Lignina. | 15 |
| 6.7. Fibra. | 17 |
| 6.8. Tipos de azúcares. | 17 |
| 6.8.1. Azúcares reductores. | 18 |
| 6.8.2. Oligosacáridos. | 18 |
| 6.8.3. Tecnología de los azúcares. | 19 |
| 6.9. Explosión de vapor. | 20 |
| 6.10. Hidrólisis. | 24 |
| 6.11. Termohidrólisis. | 25 |
| 6.12. Trabajos previos realizados con el melón..... | 26 |
| 7. MATERIALES Y MÉTODOS. | 38 |
| 7.1. Obtención de los residuos del melon (<i>Cucumis Melo</i>)..... | 38 |
| 7.2. Determinación de azúcares totales por el método fenol-sulfúrico (Dubois 1956). | 39 |
| 7.3. Determinación de azúcares reductores por el método de Miller (1989). | 40 |
| 7.4. Extracción de azúcares de la materia prima en fresco. | 41 |
| 7.5. Determinación de fibra cruda (FD), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente acida (ADF) | 41 |
| 7.6. Aplicación del método de explosión de vapor..... | 43 |
| 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 45 |
| 8.1. Análisis químico del residuo de melón (<i>Cucumis melo L.</i>)..... | 45 |
| 8.1.1. Concentración de azúcares totales y reductores en la cáscara y semilla de melón, clasificada por tamaño de partícula previo al tratamiento de hidrólisis.... | 45 |
| 8.2. Valorización de azúcares liberados en el tratamiento de hidrólisis térmica. | 49 |
| 8.2.1. Cuantificación de azúcares totales en el slurry del residuo de melón (<i>Cucumis melo L.</i>) obtenido de la hidrólisis..... | 49 |

| | |
|---|----|
| 8.2.2 Cuantificación de azúcares reductores en el slurry del residuo de melón (<i>Cucumis melo L.</i>) obtenido de la hidrólisis..... | 50 |
| 8.3. Optimización del proceso de hidrólisis por el método ortogonal Taguchi L-9.. | 52 |
| 9. CONCLUSIÓN | 57 |
| 10. BIBLIOGRAFÍA | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.- Tecnologías de tratamientos más prometedoras, (adaptado de Menon & Rao, 2012)..... | 20 |
| Tabla 2.- Compuestos Bioactivos en Cucumis melo L. y su efecto benéfico para la salud. | 27 |
| Tabla 3.- Parámetros para curva de calibración de azúcares totales (Lector de microplaca BIOBASE EL-10 ELISA). | 39 |
| Tabla 4.- Parámetros para curva de calibración para azúcares totales (espectrómetro). | 40 |
| Tabla 5.- Parámetros para curva de calibración para azúcares reductores..... | 41 |
| Tabla 6.- Tratamientos de fracciones sólidas con hidrólisis térmica. | 44 |
| Tabla 7.- Tratamientos obtenidos del diseño experimental para el proceso de tratamiento hidrotérmico y la cuantificación de azucares totales y reductores de cada uno. | 52 |
| Tabla 8.- ANOVA del efecto de los factores en los tratamientos de hidrólisis térmica sobre la cuantificación de los azucares totales. | 53 |
| Tabla 9.- ANOVA del efecto de los factores en los tratamientos de hidrólisis térmica sobre la cuantificación de los azucares reductores..... | 53 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.- Estructura química de la celulosa. | 13 |
| Figura 2.- Diferentes posibles números presentes en cadena principal y cadena lateral de hemicelulosas (adaptado de Fengel y Wegener, 1984). | 15 |
| Figura 3.- Tipos de monolignoles más comunes encontrados en los bloques de construcción de la lignina..... | 16 |
| Figura 4.- Diagrama del equipo de hidrólisis térmica. | 44 |
| Figura 5.- Efectos principales de los tratamientos de hidrólisis térmica sobre la cuantificación de azúcares totales. | 56 |
| Figura 6.- Efectos principales de los tratamientos de hidrólisis térmica sobre la cuantificación de azúcares reductores. | 56 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | |
|---|----|
| Gráfica 1.- Azúcares totales en las muestras de melón deshidratado previo al proceso de hidrólisis térmica. | 46 |
| Gráfica 2.- Azúcares reductores en las muestras de melón deshidratado previo al proceso de hidrólisis térmica..... | 48 |
| Gráfica 3.- Azucareos totales en las muestras de melón deshidratado en cada uno de los tratamientos del proceso de hidrólisis térmica..... | 49 |
| Gráfica 4.- Azucareos totales en las muestras de melón deshidratado en cada uno de los tratamientos del proceso de hidrólisis térmica..... | 51 |

1. RESUMEN.

El incontrolado excedente de desechos agroindustriales en el medio rural es considerado como un foco de infección para los cultivos. Estos agroresiduos son ricos en material lignocelulósico que están formados por azúcares sencillos. Por lo que en esta investigación se trabajó con residuos del melón utilizando la semilla y la cáscara como materia para extraer azúcares mediante un proceso de hidrólisis térmica o explosión de vapor, en donde se aplica a temperaturas altas para romper la barrera de lignina descomponiendo las cadenas de celulosa. Este trabajo se realizó en dos etapas, en el cual se trabajó con residuos de melón (*Cucumis melo L.*), la primera etapa consta del secado, tamizado y separado por partícula (2.38 mm, 1.68 mm, 0.841 mm) de la materia prima (cáscara y semilla de melón). En la determinación de azúcares previo al tratamiento de hidrólisis térmica, tanto para azúcares totales y azúcares reductores en donde se presentó una mayor concentración, fue en el tamaño de partícula #20 (0.841mm) para ambos casos, dando una concentración de azúcares totales de 15.8g/100gms y una concentración de azúcares reductores de 1.3g/100gms.

Para la segunda etapa del experimento se sometió la materia al proceso de hidrólisis térmica para aumentar la concentración de azúcares monoméricos, con el objetivo de determinar mediante el diseño ortogonal Taguchi L-9, las condiciones óptimas para la extracción de azúcares, considerando tres variables: tiempo de exposición de la materia al proceso de hidrólisis térmica (5 min, 10 min y 20 min), temperatura (110°C, 120°C Y 130°C) y tamaño de partícula (#8 [2.38mm], #12 [1.68mm], #20 [0.841mm]), este diseño estadístico determinó las combinaciones en 9 tratamientos para finalmente determinar azúcares totales y reductores en el slurry obtenido después de aplicar el tratamiento de hidrólisis térmica. Los resultados obtenidos y después de ser analizados se determinó que el tiempo de exposición y el tamaño de partícula del residuo de melón son los factores que afectan la liberación de azúcares (glucosas y fructosas).

En donde se tuvo una mayor concentración de azúcares totales se tuvo en el tratamiento 9 (tiempo 10 min, temperatura 110°C y tamaño de partícula 0.841mm) con una concentración de 18.15g/100gms. Mientras que para azúcares reductores en el slurry se tuvo una mayor liberación de azúcares en el tratamiento 6 (tiempo 5 min, temperatura 120°C y tamaño de partícula 0.841mm) con una concentración de 5.01g/100gms.

PALABRAS CLAVE: Residuo agroindustrial, azúcares totales, azúcares reductores, termohidrólisis, material lignocelulósico, semilla de melón, cáscara de melón, partículas, temperatura.

2. INTRODUCCIÓN.

La ubicación geográfica de México permite que puedan desarrollarse de 25000-30000 especies de plantas y actualmente 7461 están registradas como plantas útiles (Casas y Blancas, 2016). La mayoría de estas plantas se cultivan por ser de importancia para el consumo, a la vez que ayudan a la economía del país. Como resultado de las actividades agronómicas, se generan agroresiduos que contienen macronutrientes y compuestos bioactivos que son de interés para la industria farmacéutica, cosmética y la alimentaria (Muñoz Jáuregui *et al.*, 2007). Algunos residuos agronómicos son las cáscaras de melón, cítricos, nuez pecanera, tamarindo, zanahoria, caña de azúcar.

Por ejemplo, la FAO estima que al menos un tercio de los alimentos producidos en el mundo (estimados como 1,300 millones de toneladas métricas) se pierden y se desperdician cada año (FAO 2014). Los desperdicios en productos hortícolas son más altos entre todos los tipos de alimentos, llegando hasta el 60% (Gustavsson *et al.*, 2011). Las pérdidas y residuos se producen durante todas las fases de la cadena de abastecimiento y manejo, durante la cosecha, el transporte a los embalajes o mercados, clasificación, almacenamiento, comercialización, procesamiento y en casa antes o después de prepararlos.

La mayoría de los residuos agroindustriales corresponden a biomasa lignocelulósica y lipídica, pese a su dificultad de degradación en algunos casos, es posible su desdoble a monosacáridos y ésteres más simples mediante procesos físicos, químicos y/o biológicos. Por lo que su aprovechamiento ha ido evolucionando mediante investigaciones implementadas en países desarrollados donde deja de ser producto desecho-problema para convertirse en materia prima potencial maximizando su contenido al dar valor agregado a los mismos, por lo que de no ser así presentan problema ambiental debido a su disposición final.

Las semillas son naturales y buenas fuentes de nutrientes. La literatura revela que las semillas pueden tener el potencial de ser utilizadas como fuente de alta

proteína y aceite en algunas formulaciones de alimentos (Al-Naqeeb, Ismail y Al-Zubairi 2009).

El melón (*Cucumis melo L.*), de acuerdo a sus características nutricionales y organolépticas, se utiliza en la industria alimentaria para producir grandes cantidades de jugos naturales, así como postres listos para comer. Lo que genera un número progresivo de subproductos, en forma de semillas y cáscaras. Las semillas de melón son conocidas por ser ricas en compuestos antioxidantes. Un estudio realizado en melón Cantaloupe (*C. melo var. reticulatus*), con el objetivo de caracterizar todas las partes de la fruta en términos fisicoquímicos, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante total, destacó las potencialidades de las semillas (García *et al.* 2016).

El aumento de residuos agrícolas y el abandono incontrolado de ellos se está convirtiendo en uno de los problemas medioambientales más importantes de nuestra época. Al conocer los tipos de residuos que la sociedad genera y la creación de una sólida clasificación de los mismos, es la fuente primordial de información. Teniendo esta clasificación se pueden generar alternativas para la utilización de los residuos agroindustriales sometiéndolos a tratamientos para darles valor agregado para que sean aprovechados en las diferentes industrias.

Por lo que el objetivo del presente trabajo es aprovechar el residuo agroindustrial del melón que se genera en la comunidad de Parras y San Pedro del estado de Coahuila, para así tener una alternativa de extraer azúcares de interés alimenticio de la cáscara y semilla del melón, añadiéndole valor agregado para tener un ingreso económico extra a partir de un residuo agroindustrial.

3. JUSTIFICACIÓN.

Como sabemos hoy en día, un tercio de la producción agrícola se convierte en residuo agroindustrial, debido a su naturaleza y composición estos residuos agroindustriales se deterioran fácilmente debido a que en la mayoría de los casos no son procesados o dispuestos adecuadamente, situación que contribuye a la consecuencia de problemas medioambientales. Estos residuos agroindustriales poseen un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen la elaboración de nuevos productos, aportar valor agregado a los productos originales. Por lo que en este trabajo se planteó trabajar con la cáscara y semilla del melón para la extracción de azúcares, ya que mediante un proceso de explosión de vapor se busca que este material lignocelulósico concentre más los azúcares que contiene para poder extraerlos y así tener una alternativa para aprovechar el residuo agroindustrial que genera el melón para contribuir en el cuidado del medio ambiente.

4. HIPÓTESIS.

La optimización del tamaño de partícula y los tiempos de exposición de los residuos (cáscara y semilla de melón) al método de explosión de vapor favorecerá la liberación de azúcares monoméricos.

5. OBJETIVOS.

5.1. OBJETIVO GENERAL.

Incrementar la concentración de azúcares monoméricos en muestras de residuos de melón mediante la optimización del proceso de explosión de vapor.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Obtener los residuos de melón en las regiones de Parras y/o San Pedro.
- Analizar los residuos obtenidos previo a la hidrólisis por explosión de vapor (medir en ambas fases: azúcares totales, reductores y verificar contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina)
- Tratar las fracciones sólidas con explosión de vapor (110°C-120°C-130°C; 5 min-10 min- 20 min; Diseño Taguchi para aplicar diversos tiempos y temperaturas).
- Analizar el residuo obtenido posterior al hidrólisis por explosión de vapor (medir en sólidos y en slurry: azúcares totales, reductores y verificar contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina).

6. ANTECEDENTES.

6.1. Agroindustria.

La producción primaria (procedente del sector agrícola, pecuario, acuícola y forestal) y su transformación, en la actualidad se tiene una serie de enfoques que definen el término “Agroindustria”, todos ellos basados en los intereses de estudios propios de cada autor (Grass, 2011; Saval, 2012). Los autores consideran adecuada la definición dada por la (FAO, 1997) donde agroindustria, es el conjunto de actividades económicas que favorecen la transformación de los productos procedentes de la agricultura, la ganadería, la pesca y lo forestal, es decir, elaboración de materias primas, así como productos intermedios derivados del sector agrícola.

Lo que implica que existan dos tipos de agroindustria, la alimentaria y la no alimentaria. La primera comprende la materia prima que proviene del sector agrícola, pecuario, acuícola y forestal, dirigido exclusivamente a la obtención de alimentos mientras que la segunda, la agroindustria no alimentaria, se encarga de la transformación de productos del campo a productos como maderas, flores, tabaco, fibras, colorantes, entre otros, es decir, no alimenticios (Escandón y Pineda, 2014).

6.2. Residuos agroindustriales y su impacto ambiental.

En la agroindustria mexicana los productos que se industrializan son frutas, verduras, tubérculos, vainas, semillas, raíces, hojas; algunos comercializados en fresco y otros son transformados en harinas, aceites, néctares, jugos, vinos, mermeladas, ensaladas, concentrados en polvo, entre otros, por lo que es notable la generación de residuos, desde la cosecha, pasando por los centros de concentración, distribución y finalizando en la industrialización, comercialización y su consumo. A grandes rasgos se mencionan algunas agroindustrias y su generación de residuos.

La industria agrícola, en la cosecha de cultivos genera como residuos primarios hojas y tallos del maíz, tallos y vaina de sorgo, puntas y hojas de caña de azúcar, paja de trigo, paja de cebada y de frijol, así como cáscara de algodón. En la post-cosecha se generan residuos secundarios que se obtienen del procesamiento de la materia por ejemplo el bagazo de caña de azúcar, mazorcas y olotes, bagazo de maguey o agave, y pulpa de café (Valdez, Acevedo y Hernández, 2010).

En este sentido, para la elaboración de productos como néctares, zumos y mermeladas es utilizada únicamente la pulpa, por lo que se desecha aproximadamente el 50 % del fruto (Ramos, 2015).

6.3. Melón (*Cucumis melo L.*).

El melón es una planta herbácea monoica de tallos rastreros. Que se cultiva por su fruto, una baya de temporada veraniega con gran contenido de agua y de sabor dulce.

La planta posee tallos blandos y pilosos que crecen a ras de suelo. Sus hojas tienen peciolo acanalado y son palmadas (su aspecto es semejante al de una mano). Las flores son amarillas y cada una tiene un solo sexo.

El color de la cáscara y la pulpa es variable según la variedad del melón. La cáscara puede ser blanca, gris, verdosa o amarilla y de textura lisa, rugosa o reticulada. La pulpa es aromática, con textura suave y de diferentes colores amarillo, verde, rosado y tonos intermedios. En el centro tiene una cavidad que contiene muchas semillas recubiertas de una sustancia pegajosa.

Dentro de las cucurbitáceas, el melón es más exigente en temperatura a diferencia de los zapallos (*Cucúrbita spp.*) y menos que la sandía (*Citrullus vulgaris*).

El melón es uno de los cultivos de mayor importancia económica y social para la región lagunera y nuestro país. El valor de la producción de melón varía desde 25 mil hasta 100 mil pesos por hectárea, y genera alrededor de 120 jornales por hectárea (ASERCA, 2000). En base a lo anterior, la delegación de la SAGARPA de la Región Lagunera, en coordinación con los Gobiernos de los estados de Coahuila y Durango, definieron a la cadena agroalimentaria melón como estratégica por su alto peso específico en la economía regional y estatal (SAGARPA, 2004). La superficie que se cosecha en promedio anual de melón en la Comarca Lagunera en el periodo de 1980 al 2008 fue de 4 mil 337 hectáreas, con una producción de 89 mil 146 toneladas por año. De la superficie total regional cosechada, el 45% se siembra en el estado de Coahuila y el 55% en el estado de Durango (SAGARPA Laguna 2008). Casi el 100% de la producción de melón de esta región se destina al mercado nacional.

6.4. Variedades de Melón.

Según la variedad del melón, estos pueden ser de diferentes colores tanto su cáscara, como su pulpa, así como su tamaño, peso y forma, aunque generalmente suelen ser de forma redonda o alargada. A continuación, se detallan algunas de las variedades que más se consumen.

6.4.1. Melón amarillo.

Dentro de esta variedad hay dos tipos: el Amarillo canario y el Amarillo oro. El primero es de forma más oval y algo más alargado. La piel del fruto es lisa y de color amarillo en la madurez. La pulpa es blanca, crujiente y dulce (12-14°Brix).

6.4.2. Melón verde español.

En esta variedad existen tres tipos: Piel de sapo, Rochet y Tendral. El tipo de melón piel de sapo se caracterizan por poseer frutos uniformes en cuanto a calidad y producción, alargados, con pesos comprendidos entre 1.5 y 2.5 kg, con pulpa blanco-amarillenta, compacta, crujiente, muy dulce (12-15° Brix) y poco olorosa. La corteza es fina, de un color verde, con manchas oscuras característica nombre a este tipo de melones. La pulpa es color blanca, firme, dulce y nada olorosa.

6.4.3. Melón Cantaluop.

Presenta frutos precoces (85-95 días), esféricos, de pesos comprendidos entre 700 y 1500 gramos, piel fina y pulpa de color naranja, dulce (11-15°Brix) y aroma característico. El rango óptimo de sólidos solubles para la recolección oscila entre 12 y 14°Brix, ya que por encima de 15°Brix la conservación es muy corta.

El melón Cantaloup se destaca de las otras variedades por su elevado contenido en β -caroteno, que es precursor de la vitamina A, acción antioxidante y el responsable del color anaranjado de la pulpa. La vitamina A es un nutriente esencial para la visión y el mantenimiento de los tejidos y el cabello. Nuestro organismo se encarga de transformar el β -caroteno en vitamina A conforme lo va necesitando. La vitamina C también destaca en esta variedad de melón, y presenta asimismo una acción antioxidante. Entre los minerales, se pueden resaltar principalmente el potasio y el magnesio.

6.4.4. Melón Honeydew.

El melón Honeydew se cosecha por madurez y no por su tamaño. La madurez es difícil de conceptualizar debido a que en esta fruta no se presenta un proceso de abscisión claro (desprendimiento o separación de la fruta de la planta). Los grados de madurez se agrupan principalmente, con base en cambios en el color de fondo (el color general de la cáscara, no sus tintes verdosos o amarillentos) de la fruta, el cual pasa de verdoso a crema con algunos tintes amarillos.

6.4.5. Melón Galia.

Presenta frutos redondos, de color verde que cambia a amarillo intenso en la madurez. De pulpa blanca, ligeramente verdosa, poco consistente, con un contenido en sólidos solubles de 14-16°Brix. Híbrido muy precoz (80-100 días, según la variedad), con un peso medio del fruto de 850-1 900 gramos.

El melón es un fruto de extenso consumo cuya demanda se incrementa en época de calor. Ocupa el octavo lugar en importancia entre las hortalizas que se cultivan en México y el tercer lugar entre la familia de las cucurbitáceas en cuanto a la superficie cosechada, después de la calabaza y sandía (Acosta *et al.*,2010).

El melón mexicano es una hortaliza que mantiene su participación en el mercado internacional por su calidad. Este producto representa una fuerte derrama económica para su manejo, cosecha y empaque. El melón contiene agua en un 90%, fibra dietética, energía, proteína, vitaminas y minerales. Esta fruta se consume fresco en rebanadas, cubos o en cocteles combinado con otras frutas como papaya y sandía, en jugos, licuados con leche y en helados (SAGARPA, 2010).

La forma del melón varía (esférica, elíptica, ovalada, etc.); la corteza puede ser de color verde, amarillo o blanco, puede ser lisa, reticulada o estriada. La pulpa puede ser blanca, amarilla o anaranjada. La placenta contiene las semillas y es gelatinosa o acuosa (SAGARPA, 2010).

6.5. Producción de melón en Coahuila.

La producción de melón en la región de la Comarca Lagunera se caracteriza por presentar una fuerte concentración en espacio y tiempo presentando a ésta según SAGARPA LAGUNA (2017), con una producción de 141,202 toneladas, lo que contribuye a un 25% de la producción nacional, indicando que es la principal región melonera. Respecto a la producción de melón en la comarca lagunera, se tiene que la mayor producción se ha obtenido en ocho municipios de la Laguna, donde el 56% proviene de los municipios de Matamoros y Mapimí. La distribución espacial temporal de la producción de melón por la existencia de fuertes excesos de oferta entre los meses junio a agosto, en dicho tiempo, se obtiene más del 70% de la producción. El exceso que tiene la oferta regional, resaltados por la concentración espacial de la producción, ha provocado que los precios sean bajos a niveles de mayoreo, disminuyendo así las ganancias que obtienen los productores.

6.6. Comparación de la biomasa lignocelulósica.

6.6.1. Celulosa.

Es el polisacárido estructural de todo el reino vegetal; ya que se considera como el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza además de ser una fuente de glucosa prácticamente inagotable que se renueva de forma continua mediante la fotosíntesis. Algunos científicos han llevado a cabo investigaciones para aprovechar la celulosa en la obtención de glucosa. La celulosa es el biopolímero más abundante en la Tierra, su estructura está dada por cadenas lineales de celobiosa (D-glucopiranosil- β -1,4-D-glucopiranososa) de aproximadamente 10.000 unidades glicosídicas en celulosa nativa de fibras madereras donde representan más de 50 % del peso. En la célula vegetal gran parte de la celulosa está presente como microfibrillas empaquetadas muy densamente. Se tienen conocimientos escasos sobre la regulación de este plegamiento, contiene zonas amorfas y cristalinas. Las cadenas en la zona amorfa son susceptibles

a bioconversión (celulasas). La celulosa se encuentra en las frutas, las hortalizas y los cereales como constituyente estructural de las paredes celulares, y también la producen ciertos microorganismos. Estudios recientes investigan derivados de celulosa como por ejemplo la esterificación con cloruros de ácidos grasos para su uso en materiales compuestos de construcción para fortalecer (Freire *et al.*, 2006).

De carácter comercial este polisacárido se obtiene de la madera y del algodón, siendo esta última la fuente más pura. La celulosa es un homopolisacárido lineal de unidades de D-glucopiranosas, pero con la diferencia de que los monómeros se unen mediante enlaces glucosídicos β (1,4); el peso molecular llega a ser hasta de varios millones, su alta resistencia mecánica y química se debe a que sus cadenas paralelas se alinean sobre un eje longitudinal y establecen un gran número de puentes de hidrógeno intermoleculares, lo que da origen a microfibrillas altamente estructuradas.

Algunos derivados de la celulosa tienen muchos usos y muy variados, por ejemplo, para el control de la cristalización de la lactosa en la fabricación de helados; para la elaboración de productos congelados; también se usa en aderezos para conferir "cuerpo" e incrementar la viscosidad; en mezclas con otras gomas para evitar la sinéresis; en alimentos dietéticos (pues no se metabolizan), etc. (Freire *et al.*, 2006). A continuación, en la figura 1 se muestra la estructura de la celulosa.

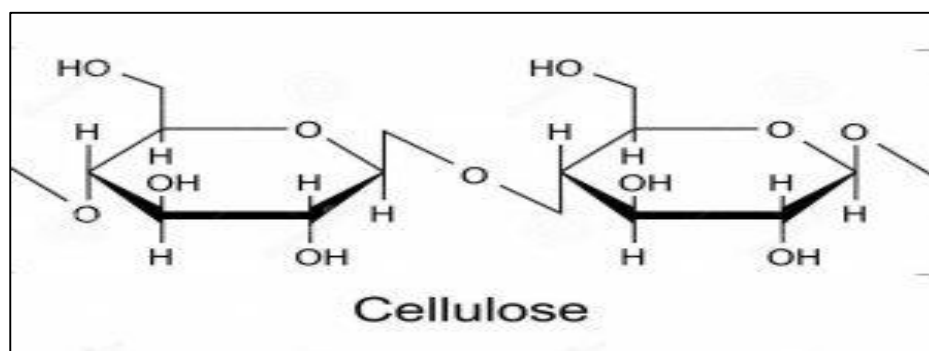


Figura 1.- Estructura química de la celulosa.

Fuente: <https://sciencestruck.com/organic-compounds-list>

6.6.2. Hemicelulosa.

Este término se emplea para referirse a un grupo muy extenso de polisacáridos con diversos tipos de monómeros (heteropolisacáridos) los cuales se localizan principalmente en la pared celular, y que son muy distintos a la celulosa o al almidón. Habitualmente son solubles en soluciones alcalinas concentradas (18 a 24% de los hidróxidos de sodio o de potasio), presentan una estructura amorfa (aun cuando algunos tipos desarrollan una forma fibrilar), y actúan como agentes cementantes en el tejido vegetal. Se asocian principalmente a las pectinas, a la celulosa y a otros polímeros con estructuras de mananas, glucomananas, galactanas, arabinogalactanas, etc. La composición química de la hemicelulosa se da a partir de la unión glucosídica de diferentes monosacáridos, sobre todo pentosas (vg. arabinosa y xilosa), hexosas (glucosa, manosa y galactosa), ácidos urónicos (galacturónico y glucurónico) y algunos desoxiazúcares. El contenido de hemicelulosas cambia durante la maduración de los frutos y vegetales. Una de las hemicelulosas más abundantes es la que está integrada por la unión β (1,4) de unidades de D-xilopiranosas; a esta estructura lineal básica ocasionalmente se le enlazan grupos de L-arabinofuranosas mediante los carbonos 2 o 3 de la xilosa. Las hemicelulosas tienen la habilidad de absorber agua, razón por la cual se dice que son solubles, dentro de la pared celular las hemicelulosas tienen como función principal interactuar con la celulosa y la lignina a través de puentes de hidrógeno entre los grupos $-\text{CH}_2\text{OH}$ de las cadenas de celulosa y los oxígenos glucosídicos de las hemicelulosas, lo cual proporciona rigidez en la pared celular.

Las hemicelulosas representan entre un 10-45% en peso seco del material lignocelulósico. En estado natural se encuentran en forma amorfa con un grado de polimerización de aproximadamente 200-300. Existen dos tipos principales de hemicelulosas: los xilanos y los glucomananos (Girio *et al.*, 2010). En la figura 2 se muestra la estructura de la hemicelulosa (adaptada de Fengel y Wegener, 1984).

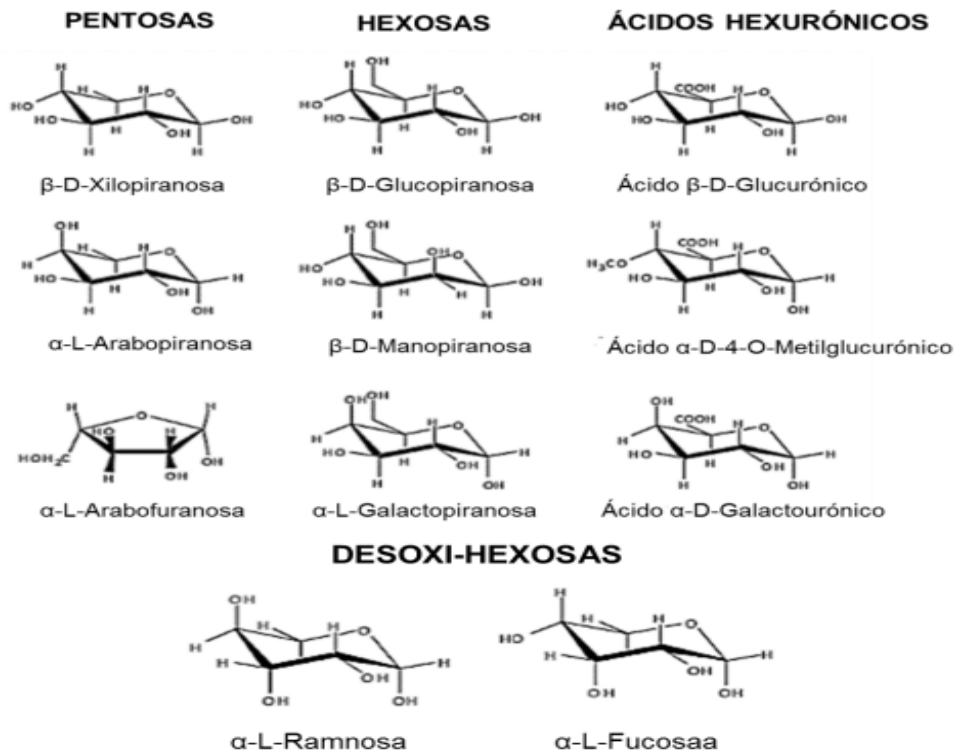


Figura 2.- Diferentes posibles números presentes en cadena principal y cadena lateral de hemicelulosas (adaptado de Fengel y Wegener, 1984).

6.6.3. Lignina.

Uno de los polímeros más abundantes en las plantas es la lignina que junto con la celulosa y la hemicelulosa forman la pared celular de las mismas en una disposición regulada a nivel nano-estructural, dando como resultado redes de lignina-hidratos de carbono (Chávez & Dominé, 2013). La lignina está presente en todas las plantas vasculares, y al igual que muchos otros componentes de la biomasa, se forma mediante la reacción de fotosíntesis. La lignina está considerada como un recurso renovable accesible y de potencial uso industrial, cuya producción anual se ha estimado en el intervalo de 5-36 x 10⁸ toneladas (Chávez & Sifontes, 2013). La lignina es el polímero natural más complejo en relación a su estructura y heterogeneidad por lo que no es posible adscribirle una estructura definida. En la figura 3 se muestra la estructura de los tipos de monolignoles más comunes en la lignina (Vanholme *et al.*, 2008)

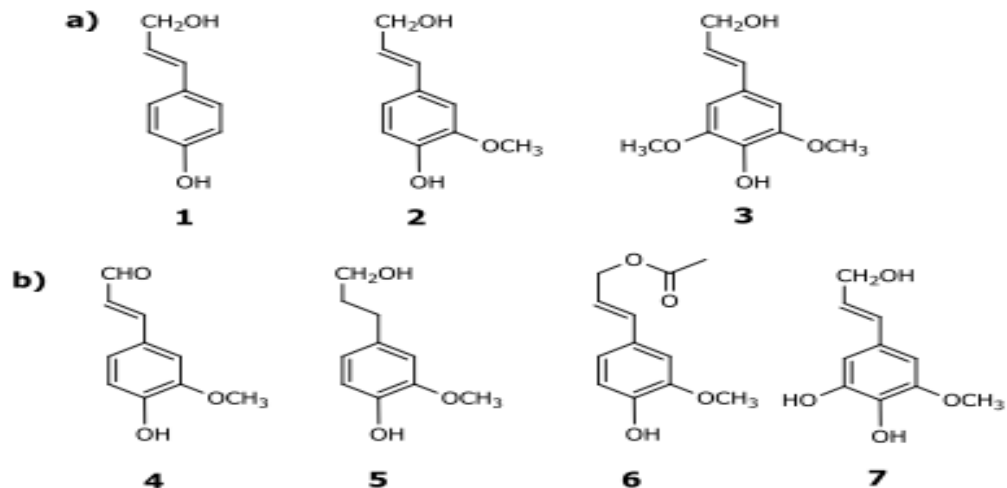


Figura 3.- Tipos de monolignoles más comunes encontrados en los bloques de construcción de la lignina

La lignina se puede aislar del material lignocelulósico por medio de métodos que implican diferentes procesos mecánicos y químicos. Se pueden agrupar en dos vías principales estos métodos, el primer grupo se utilizan métodos que puedan liberar la celulosa y hemicelulosa, dejando la lignina como residuo insoluble, mientras que el segundo grupo incluye métodos que implican la disolución de la lignina, dejando como residuos insolubles la celulosa y la hemicelulosa, seguido de la recuperación de lignina a partir de la fase líquida.

Actualmente no se conoce algún método disponible para el aislamiento cuantitativo de la lignina natural o residual, en el cual no se corra el riesgo de modificar su estructura durante el proceso. Aunque, la información obtenida sobre la reactividad química y la estructura de la lignina aislada es valiosa (Bauer *et al.*, 2012).

6.7. Fibra.

De los residuos de cáscara de frutas pueden obtenerse subproductos alimenticios, de los cuales se encuentran productos a base de fibra soluble, siendo este nutriente un pilar importante para la prevención de enfermedades crónicas, como las enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes, así como la regulación de la función intestinal (Huerta, 2009).

De acuerdo a Casanueva (2011) las recomendaciones establecidas para la población mexicana son de 25-35 g de fibra al día. No obstante, con la transición alimentaria la calidad de vida ha ido decreciendo, lo que trae como consecuencia el que se dé una disminución en la ingesta de cereales, leguminosas, frutas y verduras. Aumentando así el consumo de azúcares refinados, alimentos de origen animal, comidas rápidas, un elevado consumo de sodio entre otras cosas, motivo por el cual se busca el diseño de nuevos alimentos que tengan mayor aceptación y que contribuyan al aumento de ingesta diaria de fibra alimentaria recomendada, buscando así la prevención de diversas enfermedades (Casanueva, 2011).

La fibra insoluble se adquiere principalmente de la pared celular de las plantas y cáscaras de las frutas, las cuales están compuestas de celulosa y lignina especialmente (Anguera 2007).

6.8. Tipos de azúcares.

Los azúcares se pueden encontrar de forma natural en todas las frutas, verduras, productos lácteos y en algunos granos enteros. Estos azúcares naturales también son conocidos como hidratos de carbono, lo que hace que sea un macronutriente esencial. A los carbohidratos de la dieta se agrupan como monosacáridos, los cuales son moléculas individuales de azúcar; los disacáridos, que son dos moléculas unidas entre sí; u oligosacáridos y polisacáridos, siendo éstos cadenas más largas de moléculas de azúcar. Dentro de los monosacáridos se incluyen la glucosa, galactosa y fructosa, que son todos los azúcares reductores (Gutiérrez, 2019).

6.8.1. Azúcares reductores.

Los azúcares reductores como la glucosa, fructosa, lactosa y maltosa cuentan con un carbono libre e intacto en su estructura y pueden reducir, lo cual permite que reaccionen con otras moléculas. A los azúcares reductores también se les conoce como azúcares invertidos dado a la mezcla de azúcares producida cuando la sacarosa se hidroliza, química o enzimáticamente. El nombre de inversión se refiere al cambio del poder rotatorio que se observa durante dicha hidrólisis: la sacarosa es dextrorrotatoria (+66°), pero al transformarse en glucosa (+52°) y en fructosa (-92°), la mezcla resultante desarrolla un poder levorotatorio que se le conoce como inversión. Debido a la presencia de la fructosa, los azúcares reductores o invertidos son un poco más dulces que la sacarosa. Si consideramos un valor arbitrario de 100 para el poder edulcorante del disacárido sacarosa, el de la fructosa es de 180 y el de la glucosa de 74; consecuentemente, el de los azúcares reductores es en promedio: $(180 + 74) / 2 = 127$; es decir, es 27% más dulce que la sacarosa (Badui, 2006). Se consideran como azúcares reductores a los monosacáridos como la fructosa, dextrosa, galactosa y los disacáridos como la maltosa y lactosa (Solares, 2013).

6.8.2. Oligosacáridos.

Son polímeros que se conforman por 3 y 10 monosacáridos unidos por enlaces glucosídicos, en donde se reconocen dos grupos los maltoligosacáridos alfa-glucano y los oligosacáridos no digeribles fructoligosacáridos y galactoligosacáridos. En la industria alimentaria se obtiene maltodextrina, la cual se digiere y se absorbe en el intestino (Velásquez G, 2006). Existe gran variedad de oligosacáridos en la naturaleza, pero para la industria de alimentos sólo algunos de ellos resultan de interés. Algunos de los oligosacáridos se pueden sintetizar, como ocurre durante la hidrólisis de la lactosa con la β -galactosidasa (lactasa), que también tiene actividad de transgalactosidación; mediante este mecanismo se producen la alolactosa y la 6-O- β -D-galactopiranosil-D-galactosa (Greenberg, N.A. & Mahoney, R.R. 1983.).

6.8.3. Tecnología de los azúcares.

La industria alimentaria para la elaboración de diversos alimentos ha empleado tradicionalmente diversos mono y disacáridos, como la glucosa, sacarosa, el azúcar invertido y la lactosa; aunque en la actualidad algunos azúcares-alcoholes han adquirido una mayor notoriedad, siendo el más popular el xilitol y el sorbitol que, en ciertos casos, han desplazado a los primeros. Los azúcares se pueden obtener de fuentes naturales como la caña de azúcar, la remolacha, los almidones, las frutas, etc. Su obtención implica el uso de tecnología especializada que, favorablemente, ha evolucionado gracias a la creación de equipos que optimizan los procesos, a la recuperación de la energía liberada en el proceso de obtención, a la automatización y a la reducción de costos. Por otra parte, se han desarrollado procesos que permiten una mayor versatilidad en la aplicación de los azúcares, como la elaboración de azúcares microporosos que sirven como acarreadores de sabores (Badui, 2006).

Los usos que se les da a dichos azúcares se basa principalmente en sus propiedades funcionales, las cuales son consecuencia de su estructura química; su alto contenido de hidroxilos altamente hidrófilos, les proporciona la capacidad de hidratarse y de retener agua al establecer puentes de hidrógeno; generalmente son dulces, propician las reacciones de oscurecimiento de Maillard y de caramelización y fermentación, fungiendo como fuente de carbono; son capaces de inhibir el crecimiento microbiano, dependiendo de la concentración a la cual se empleen, por reducir el aa; confieren viscosidad y “cuerpo” a diversos alimentos, etc. (Zeller, B.L. & Saleeb, F.Z. 1996.)

6.9. Explosión de vapor.

Para tratar el material lignocelulósico el método más utilizado es la explosión de vapor, además de que se ha reconocido como uno de los métodos más rentables. Este método trata a la biomasa con vapor de agua saturada a presión alta (a unas temperaturas entre 160-260 °C con unas presiones correspondientes entre 0,69 a 4,83 MPa), una vez alcanzadas estas temperaturas se reduce la presión súbitamente, lo que provoca una descompresión explosiva en los materiales. Este proceso causa la degradación de la hemicelulosa y la transformación de la lignina. En la tabla 1 se muestran algunas de las tecnologías más prometedoras para tratar el material lignocelulósico, así como sus ventajas y desventajas.

Tabla 1.- Tecnologías de tratamientos más prometedoras, (adaptado de Menon & Rao, 2012).

| Procesos de tratamiento | Ventajas | Limitaciones y desventajas |
|------------------------------------|---|---|
| Tratamientos Físicos | | |
| Fragmentación Mecánica y Pirolisis | -Reduce la cristalinidad de la celulosa. | -Mayor consumo de energía de la que se puede obtener de la biomasa |
| Explosión de vapor | -Degradación de la hemicelulosa y transformación de la lignina -Coste efectivo | -Destrucción de una porción de la fracción xilano. -Ruptura incompleta de la lignina. -Generación de compuestos inhibidores de microorganismos. |
| Explosión de Fibra de Amoniaco | -Aumenta la superficie de acceso. Coste efectivo. | -No es eficiente para biomasa con alto contenido en lignina. |

| | | |
|---|--|--|
| | -No forma compuestos inhibidores para las etapas siguientes. | |
| Explosión con CO2 | -Reduce el contenido de lignina. -No produce residuos tóxicos. | -No es eficiente para biomasa con alto contenido en lignina. |
| Pirolisis por impulsos de Campo Eléctrico | -Obtención de productos gaseosos y líquidos en condiciones ambientales. -Altera las células vegetales. -Requiere un equipamiento simple. | -Temperatura elevada -Producción de ceniza -El proceso está todavía en desarrollo. |

| Procesos de tratamiento | Ventajas | Limitaciones y desventajas |
|--------------------------------|---|--|
| Tratamientos químicos | | |
| Ozonolisis | -Reduce el contenido de lignina. -No produce residuos tóxicos. | -Requiere grandes cantidades de ozono. -Alto coste. |
| Hidrolisis Acida | -Hidroliza la hemicelulosa a xilosa y otros azúcares. -Altera la estructura de la lignina. | -Corrosión del equipo. -Formación de sustancias tóxicas. -alto coste |
| Hidrolisis Alcalina | -Elimina la hemicelulosa y la lignina; Aumenta la superficie de acceso. | -Requiere largos tiempos de residencia. -Formación de sales irreversibles y que se incorporan a la biomasa. |
| Organosolventes | -Hidrolisis de la lignina y la hemicelulosa. | -Los disolventes necesitan ser drenados del reactor, evaporados, condensados y reciclados. -Alto coste. |
| Tratamientos Biológicos | | |
| Biológica | -degrada la lignina y la hemicelulosa. -Requiere poca energía. | -Hidrolisis lenta. |

En años recientes, se está investigando la viabilidad de la explosión súbita de vapor como un tratamiento previo para producir combustibles sólidos avanzados (Wolbers *et al.*, 2018).

- Tratamiento de la biomasa con vapor a presión durante un período específico de tiempo.
- Liberación del vapor de manera súbita, causando rompimiento en la matriz celular de los materiales por la descompresión explosiva.
- Recuperación de las fracciones líquida y sólida del material en un tanque receptor, para su análisis posterior.

Este es un método de fraccionamiento de la estructura del material lignocelulósico mediante la acción hidrolítica del vapor a presión y altas temperaturas, que actúan a nivel de la pared celular, mediante la hidrólisis de los enlaces lignocelulósicos, solubilizando la hemicelulosa y eliminando los grupos acetilo, con lo que se reduce el problema de la formación de inhibidores (Wang *et al.*, 2015; Matsakas *et al.*, 2018). Mas sin embargo, puede generar degradación de las hemicelulosas que no es apropiada para algunos procesos posteriores (Lischeske *et al.*, 2016).

A nivel físico se da la desagregación y ruptura de las fibras, causado por la evaporación del agua interna en las células, la cual causan cizalladuras que producen la separación de las fibras principalmente en las regiones amorfas de la celulosa. A nivel químico se genera la despolimerización, rotura de enlaces y modificación del índice de cristalinidad de la celulosa, debido a la alta temperatura del proceso, lo que provoca la hidrólisis de los grupos acetilos de las hemicelulosas para producir ácido acético y destruyendo parcialmente los enlaces lignina-carbohidrato (Jacquet *et al.*, 2016; Medina *et al.*, 2016).

Cuando la biomasa es sometida a explosión súbita de vapor muestra un cambio en sus características químicas, higroscopicidad, color, dureza, textura y conducta térmica. La hidrólisis incompleta de la celulosa es el resultado de la explosión de vapor con la inclusión de características volátiles, lignina y otros carbohidratos. Existe la

posibilidad de que se descubran otros enlaces accesibles de enlaces glucosídicos como la lignina β -éter y complejos de lignina-carbohidrato (Pourmakhdomi, 2014).

El uso del pretratamiento de explosión súbita de vapor para el fraccionamiento de la estructura del material lignocelulósico, con el fin de mejorar la digestibilidad enzimática de la celulosa. Es una tecnología de bajo impacto ambiental, factible de usar para desarrollar procesos de obtención de biocombustibles menos contaminantes.

6.10. Hidrólisis.

La hidrólisis o también conocida como ruptura de las moléculas en un medio acuoso, tiene la finalidad de transformar polímeros de glucosa (almidón y celulosa) en azúcares sencillos. Este proceso se realiza mediante fermentos o enzimas (hidrólisis enzimática) o bien, mediante el uso de reactivos químicos (hidrólisis química).

La hidrólisis enzimática, se realiza con la ayuda de enzimas que se obtienen de microorganismos, que dependen de las condiciones óptimas del proceso y de la naturaleza del organismo productor de las enzimas, así como los rendimientos del pretratamiento efectuado y del sustrato que se emplea.

La hidrólisis química de la celulosa se efectúa excepcionalmente con los ácidos clorhídrico y sulfúrico (hidrólisis ácida) o con una base fuerte (hidrólisis alcalina). Siendo en este caso que la reacción es mucho más rápida que en la hidrólisis enzimática, donde las temperaturas son superiores (mayor consumo de energía) y produciéndose problemas de corrosión (INVIMA, 2016).

6.11. Termohidrólisis.

La termo hidrólisis también conocida como hidrólisis térmica es un proceso donde cadenas de moléculas largas, como la celulosa y hemicelulosa, se rompen para obtener los componentes originales de dichas moléculas. Este proceso permite que se lleve a cabo un pretratamiento de la biomasa de una manera económica para posteriormente obtener productos de alto valor.

Ya que, por su abundancia, la biomasa celulósica ha llamado la atención e interés como materia prima bioenergética que no tiene competencia con productos alimentarios cultivados, así evitando posibles efectos de precios negativos que la bioenergía pudiera ocasionar al usar este tipo de cultivos.

Con la aplicación de altas temperaturas y presiones, se rompe la barrera de lignina y se descomponen las cadenas de celulosa; además, si se utiliza la explosión de vapor, se mejora el proceso (HRS, 2019).

Las ventajas que se presentan en este proceso son:

- Es un proceso continuo que permite que la producción sea más eficiente.
- Al usar intercambiadores de calor de superficie rascada permite que se asegure una operación sin presencia de ensuciamiento.
- Al recuperar energía se genera una gran reducción de costos.
- Este proceso se puede aplicar para la producción de bioetanol y biogás.
- Dependiendo de la materia prima que se utiliza, puede incrementarse el rendimiento (produciendo mayor cantidad de biocombustible) y reducir tiempos de fermentación con digestores pequeños.

6.12. Trabajos previos realizados con el melón.

(Ying, Harith *et al.*, 2019) realizaron un estudio cuyo objetivo fue indagar en los compuestos bioactivos presentes en diferentes partes del melón, al igual que los efectos benéficos para la salud que presenta la fruta. Para la realización de este trabajo, hicieron uso de un marco metodológico que fue propuesto por Arksey y O'Malley, que constó de la realización de una búsqueda en bases de datos electrónica de artículos académicos en el idioma inglés, utilizando PubMed, Scopus y ScienceDirect, abarcando los años entre 1999 y 2019. Identificándose 602 estudios (excluyendo aquellos de revisión sistemática o los de simple revisión) e incluyendo en un total de 18 estudios, donde se puede resaltar que tanto las cáscaras como las semillas (ambas) eran ricas en compuestos fenólicos; otra aseveración es que el aceite de las semillas contenía fuentes ricas en tocoferoles y en la pulpa se encontró caroteno y vitamina C.

La metodología que se implementó fue diseñar todo este proceso como un examen de alcance para así identificar cada compuesto bioactivo del melón, variedad *Cucumis melo L.* al igual como los efectos benéficos para la salud con los que éste cuenta. Dentro de la metodología se utilizó el marco teórico propuesto por Arksey y O'Malley (2005), el cual consta de las siguientes etapas:

- 1) Identificación de las preguntas de investigación.
- 2) Identificación de los estudios pertinentes.
- 3) Selección de los estudios.
- 4) Trazado de los datos.
- 5) Cotejo, resumen y presentación de resultados.

Por lo que los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2.- Compuestos Bioactivos en *Cucumis melo L.* y su efecto benéfico para la salud.

| Autor, año | País | Parte de la fruta | Compuestos bioactivos | Cantidad | Beneficios para la salud |
|-------------------------------------|-------------|---|--|--|--|
| (Mallek-Ayadi <i>et al.</i> , 2018) | Tunisia | Cucumis melo L. (cultivar maazoun) semillas | Naringenina-7-O-glucósido Ácido gálico Ácido vainílico Acido 4-hidroxibenzoico | 4.30±0.00 mg/100g extracto 4.24±0.03 mg/100g extracto 3.87±0.02 mg/100g extracto 3.28±0.03 mg/100g extracto | ND |
| (Mallek-Ayadi <i>et al.</i> , 2017) | Tunisia | Cucumis melo L. (cultivar maazoun) aceite de semillas | Amentoflavona Ácido gálico Ácido protocatecúico Ácido cafeico Ácidos rosmarínicos Glucósido de luteolina-7-O α -tocoferol β + γ -tocoferoles δ -tocoferol | 32.80±0.21 μ g/g Fw7.26±0.02 μ g/g Fw0.89±0.01 μ g/g Fw3.13±0.00 μ g/g Fw2.91±0.04 μ g/g Fw9.60±0.01 μ g/g Fw2.85±0.17 mg/100g aceite 18.13±0.41 mg/100g aceite 6.09±0.53 mg/100g aceite | ND |
| (Rasouli <i>et al.</i> , 2017) | Iran | Cucumis melo L. semilla | ND | ND | Efecto antiangiogénico del inhibidor de tripsina purificado en cultivos tridimensionales de células endoteliales de la vena umbilical humana |
| (Mallek-Ayadi <i>et al.</i> , 2016) | Tunisia | Cucumis melo L. (maazoun cultivar) cáscara | Ácido 3-hidroxibenzoico Apigenina-7-glucósido Ácido isovanílico | 33.5±0.37 mg/100g extracto 29.3±0.17 mg/100g extracto 23.7±0.04 mg/100g extracto | |

| | | | | | |
|----------------------------|--------|------------------------------------|---|--|-------------------------------|
| | | | Ácido m-cumárico Oleuropeína Luteolina-7-glucósido Ácido gálico Tirosol Naringenina Flavona | 19.9±0.37 mg/100g extracto 18.9±0.29 mg/100g extracto 16.5±0.15 mg/100g extracto 12.1±0.12 mg/100g extracto 11.4±0.03 mg/100g extracto 11.6±0.11 mg/100g extracto 13.5±0.32 mg/100g extracto | ND |
| (Ibrahim & El-Mesry, 2016) | Egipto | Cucumis melo L. var. Cantalupensis | | | Actividad antioxidante (DPPH) |
| | | Piel | Ácido 4-hidroxibenzoico Vanilina Ácido clorogénico Ácido cumárico | 326.2 µg/g dw 197.4 µg/g dw 65.9 µg/g dw 81.1 µg/g dw | 91.73±0.35% |
| | | Semilla | ND | ND | 48.55±0.84% |
| | | Pulpa | ND | ND | 66.36±0.95% |

Continuación de la tabla 2...

| Autor, año | País | Parte de la fruta | Compuestos bioactivos | Cantidad | Beneficios para la salud |
|-------------------------------|----------|--|--|--|--|
| (Mehra <i>et al.</i> , 2015) | India | Semillas de melón almizclero (Cucumis melo L.) | ND | ND | Actividad antioxidante (FRAP: 5.63 µg BHTE/mg) |
| (Petkova & Antova, 2015) | Bulgaria | Aceite de semillas de Cucumis melo L. | | | |
| | | Honeydew | α-tocoferol β-tocoferol γ-tocoferol γ-tocotrienol | 2.9±0.1% 1.7±0.1% 91.5±0.5% 3.9±0.1% | ND |
| | | Dessert 5 | α-tocoferol β-tocoferol γ-tocoferol γ-tocotrienol | 19.7±0.3% ND 71.4±0.3% 8.9±0.5% | ND |
| | | Híbrido 1 | α-tocoferol β-tocoferol γ-tocoferol γ-tocotrienol | 6.2±0.2% ND 78.5±0.5% 15.3±0.3% | ND |
| (Azhari <i>et al.</i> , 2014) | China | Cucumis melo L. var. Semilla de tiburón | δ-tocoferol γ-tocotrienol α-tocoferol | 27.40±0.53 mg/100g aceite 13.10±0.41 mg/100g aceite | Actividad antioxidante ABTS: 23030 mg/mL DPPH: 25.25 mg/mL |

| | | | | | |
|--------------------------|---------------|---|--|--|---|
| | | | | 2.70±0.17 mg/100g aceite | |
| (Siddeeg & Alsir, 2014) | China | C. melo L. var. Semillas de tiburón | Hexenal | ND | La actividad antibacteriana contra los Gram-positivos y las bacterias Gram-negativas |
| (Al-Sayed & Ahmed, 2013) | Egipto | Cáscaras de melón Sharlyn (Cucumis melo L.) | Ácido 4-hidroxibenzoico Vanilina Ácido cumárico Ácido clorogénico | 325.3 µg/g dw 199.2 µg/g dw 80.8 µg/g dw 66.2 µg/g dw | ND |
| (Chen & Kang, 2013) | Corea del sur | C. melo L. var. semilla de makuwa Makino | Ácido graso insaturado: ácido palmítico, ácido oleico y ácido linoleico | ND | Actividad antidiabética mediante la inhibición de α-glucosidasa en un 35,3% y α-amilasa en un 61,8% |

Continuación de la tabla 2...

| Autor, año | País | Parte de la fruta | Compuestos Bioactivos | Cantidad | Beneficios para la salud |
|--------------------------------|---------|---|-----------------------|--|--|
| (Norriah <i>et al.</i> , 2012) | Malasia | Cucumis melo L. cultivares | | | Actividad antioxidante (DPPH: SC ₅₀) |
| | | Pulpa de la variedad Glamour Pulpa de la variedad Campeón Pulpa de la variedad luna de miel | B-carotene | 5.2x10 ⁻⁵ % 3.4x10 ⁻⁴ % 9.5x10 ⁻⁴ % | ND |
| | | Cáscara de la variedad Glamour Cáscara de la variedad campeón Cáscara de la variedad luna de miel | ND | ND | 320 µg/ml 390 µg/ml 500 µg/ml |
| | | Semilla de la variedad Glamour Semilla de la variedad campeón Semilla de la variedad luna de miel | ND | ND | 250 µg/ml 270 µg/ml 450 µg/ml |

| | | | | | |
|----------------------|-------|---|----|----|---|
| (Arora et al., 2011) | India | Cucumis melo L. var. semillas de agrestis | ND | ND | <p>Actividad antiinflamatoria en la que el edema de la pierna se redujo en un 61,6% a 300 mg/kg</p> <p>La actividad analgésica fue del 70,6% utilizando el método de retorcimiento inducido por el ácido acético</p> <p>Actividad antioxidante</p> <p>DPPH: 24.01±7.1% to 75.59±6.7%</p> <p>Peróxido de Hidrógeno: 45.23±5.4% to 69.86±4.0%</p> |
| (Gill et al., 2011) | India | Cucumis melo L. var. semilla de agrestis | ND | ND | <p>Actividad antiinflamatoria en la que el edema de la pierna se redujo en un 56,5% a 300 mg/kg</p> <p>Actividad antioxidante</p> <p>DPPH: 52.8±0.28% to 74.9±0.76%</p> <p>Peróxido de Hidrógeno: 35.2±0.02% to 58.9±0.01%</p> |

Continuación de la tabla 2....

| Autor, año | País | Parte de la fruta | Compuestos Bioactivos | Cantidad | Beneficios para la salud | |
|---|---|-------------------|--|---|---------------------------|----|
| (Laur & Tian, 2011) | USA | Cantaloupe | | | | |
| | Oro Rico (CA, USA) Durango (CA, USA) Oro del Caribe (Honduras) Cantaloupe desconocido variedad (Guatemala) | β-caroteno | 3138±228.1 µg/100g fw 2448±291.8 µg/100g fw 3633±322.7 µg/100g fw 3861±559.7 µg/100g fw | ND | | |
| | | Honeydew | | | | |
| | | | 124.1±49.7 µg/100g fw 63.1±11.0 µg/100g fw 118.7±31.9 µg/100g fw 109.1±8.3 µg/100g fw 99.0±27.6 µg/100 fw 172.9±50.6 µg/100g fw | ND | | |
| Esmeralda (CA, USA) Vanessa (CA, USA) Saturno (CA, USA) Santa Fe (CA, USA) Rocío de verano (Honduras) Honeydew desconocido variedad (México) | (Sood et al., 2011) | | India | Cucumis melo L. var. semillas de agrestis | Triterpenoides, esteroles | ND |

| | | | | | | |
|--------------------------|----------|--|----|----|-----------------------------------|---------------------|
| (Ismail et al., 2010) | Malaysia | Cucumis melo L. Pulpa Semilla Cáscara | ND | ND | Actividad antioxidante | |
| | | | | | DPPH RSA | Hidroxilo RSA |
| | | | | | (mg/ml) | (g DMSOE/g extract) |
| | | | | | 11.9±1.00 | 67.19±8.90 |
| | | | | | 25.44±2.83 | 37.37±2.42 |
| | | | | | 9.58±0.37 | 39.11±2.91 |
| (Parmar & Kar, 2009) | India | Cucumis melo L. cáscara | ND | ND | Proteger contra el hipotiroidismo | |

En base a los resultados obtenidos, (Ying, Harith *et al.*, 2019) pudieron concluir que las semillas y cáscaras del *Cucumis melo L.* mostraron diversos beneficios para la salud, existiendo gran posibilidad de poder agregar los subproductos obtenidos en diferentes aplicaciones alimenticias y de nutrición para la creación de nuevos alimentos o en forma de suplementos.

Miller *et al.*, 2018. Realizaron un trabajo donde su principal objetivo fue evaluar el impacto que tienen los tratamientos de ozono gaseoso (30 y 60 min) en la pasta de semillas de melón y realizando una comparación con el efecto que se tiene sobre la pulpa; en el cual los tratamientos de ozono fueron evaluados en términos fisicoquímicos (color, pH y contenido de sólidos solubles) al igual que con perfiles nutricionales (fenólicos totales, carotenoides totales y capacidad antioxidante total) de todo el material procesado. Sus resultados arrojaron que el ozono tiene un impacto que difiere en las matrices de las frutas, siendo así las semillas las que resultan las menos afectadas por el tratamiento. Por lo que sus conclusiones fueron que: “las semillas de melón son más resistentes a la explosión de ozono, probablemente debido a sus características inherentes.”

En Malasia Yanti *et al.*, 2008; realizaron estudios respecto a la semilla del melón, variedad *Cucumis melo inodorus*, del cual obtuvieron que este contiene un 4.5% de humedad, 25% de grasa bruta, 25% de proteína neta, 23% de fibra bruta, 2.4% de ceniza y 19.8% de carbohidratos. Respecto a la información que obtuvieron, decidieron utilizar las semillas para la obtención de aceite utilizando un extractor de aceite Desoxhlet de 5 litros. Del aceite que obtuvieron se observó que tenía un índice de color de $1.6Y + 0.4R$; también contenía 10 ácidos grasos, de los cuales 86.1% eran insaturados, predominando el ácido linoleico con 69%, enseguida el ácido oleico con un 16.8% y finalmente el ácido palmítico con 8.4%; teniendo como conclusiones que las semillas del melón *Cucumis melo inodorus*, tiene un alto contenido de aceite (25%) y representan una fuente potencial de aceite comestible que es rico en ácido linoleico y que la alta cantidad de ácidos grasos insaturados, pueden hacer que el aceite sea

un posible sustituto ante otros aceites altamente insaturados, pudiendo ser éste utilizado como aceite para ensaladas o para la elaboración de margarinas.

Mallek-Ayadi *et al.*, 2018. Realizaron estudios para saber la composición química de las semillas de melón *Cucumis melo L.* variedad *Maazoun*; al igual que la extracción de aceite de las mismas. Dentro del estudio, se determinó que dichas semillas contenían 7.16% de humedad, 30.65% de aceite, 27.41% de proteínas, 4.83% de cenizas, 29.96% de carbohidratos, 25.32% de fibras y una cantidad considerable de antioxidantes. Los principales minerales encontrados fueron: potasio, magnesio y calcio. Del aceite que se extrajo de las semillas se analizó su composición, obteniendo que los principales ácidos grasos fueron el ácido linoleico y el ácido oleico-, también se encontró el aceite presentaba grandes cantidades de fitosteroles en los que había 206,42mg por cada 100g de p-sitosterol, pero también abundancia en tocoferoles. Por lo que se obtuvo que las semillas del melón podrían ser una gran fuente alternativa de aceite vegetal el cual puede servir como materia prima para aplicaciones alimenticias.

Oualid (2010) trabajó con la cáscara de melón *Cucumis melo L.* la cual se usó como un sorbente no convencional para la eliminación del cadmio de la fase acuosa. En este trabajo se evaluaron los efectos de la dosis de sorbente, pH, fuerza iónica, temperatura, velocidad de agitación, concentración inicial y tiempo de contacto en la adsorción del cadmio. Los datos de la adsorción, fueron analizados por modelos de isoterma Langmuir, Freundlich y Temkin; éstos indican que el modelo de Langmuir proporciona la mejor correlación de los datos experimentales, con una capacidad máxima de adsorción de 81.97mg/g. Las conclusiones de este trabajo afirman que la cáscara de melón puede ser un sorbente con gran eficacia para la eliminación del cadmio en soluciones acuosas.

6.13. Diseño Taguchi

Los diseños experimentales de Taguchi están basados en arreglos ortogonales y se hicieron populares por el ingeniero Genichi Taguchi. Normalmente se identifican con el nombre L_8 , que indica un arreglo con 8 corridas. Los diseños experimentales clásicos también están basados en arreglos ortogonales, pero se identifican con un exponente para indicar el número de variables así un diseño experimental clásico 2^3 también tiene 8 corridas.

Así, los diseños generados por los dos métodos parecen ser similares y de hecho lo son. De esta forma algunas industrias y organizaciones que están al lado de los métodos de Taguchi y otros se inclinan por el método clásico.

La metodología clásica enfatiza en:

- Experimentación secuencial para modelar el comportamiento del proceso (por ejemplo, para desarrollar modelos empíricos del proceso incluyendo el efecto de los factores de “ruido”).
- Predicción del comportamiento futuro del proceso, incluyendo los efectos óptimos de los modelos empíricos.
- Investigación y el aislamiento de factores que afectan a la medida y a la varianza, independientemente.
- Selección del diseño experimental, considerando las salidas, esto, en corridas de una fracción de un diseño factorial completo, por ejemplo, un diseño 28-4, investiga los efectos de los 8 factores en 16 corridas, y las salidas son conocidas antes de correr el experimento. La experimentación adicional puede ser requerida para identificar claramente los efectos de sus interacciones.

El uso de estos métodos es para diseñar experimentos para mejorar procesos y productos (Kavanaugh, 2002).

7. MATERIALES Y MÉTODOS.

El presente trabajo se realizó en el departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, en el laboratorio de Fermentaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Esta investigación consta de dos etapas la primera se realizó previo al tratamiento de la materia en donde se determinaron azúcares totales, reductores y determinación de fibra cruda (FC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente acida (ADF). En la segunda etapa se realizó el tratamiento de explosión de vapor con la ayuda de un biorreactor y utilizando el equipo Software de registro de datos Pico Log 6 para TC-08 con el fin de incrementar la concentración de azúcares monoméricos en el residuo de melón.

7.1. Obtención de los residuos del melon (*Cucumis Melo*)

Los residuos del melon se obtuvieron de la región de Parras y San Pedro del estado de Coahuila. Se pesaron los melones para obtener el peso bruto de cada uno, posteriormente se separó la fase sólida (cáscara y semilla) de la líquida (pulpa) para pesar por separado ambas fases y obtener el rendimiento. La cáscara y semilla cada una por separado se pusieron en charolas de papel aluminio para ponerlas a secar en el horno de secado a 60° C por 72 h. Transcurrido el tiempo se sacaron del horno para pesarlas y obtener rendimiento. La materia prima seca se sometió a molienda en una licuadora por 2 min, después de la molienda se procedía a tamizar en mallas de pruebas físicas las cuales se utilizó la del # 8 (2.38mm), #12 (1.68mm), #20 (0.841mm) y #24 (0.707mm). La materia prima se clasificó por el número de partícula antes mencionado para luego almacenarla en bolsas ziploc.

7.2. Determinación de azúcares totales por el método fenol-sulfúrico (Dubois 1956).

Para la realización de esta técnica el slurry obtenido después del tratamiento se aplicó un factor de dilución 1/10 en donde se tomó 1 ml del slurry y diluí en 9 ml de agua destilada, el cual se centrifugo a 3500 rpm por 10 min. Se tomó con una micropipeta 400µl de muestra y se colocó en un tubo de ensaye, se añadió 400 µl de fenol al 5% se homogenizo y se dejó en baño de agua con hielo por 5 min. Después de culminar el tiempo se añadió 1000 µl de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado despacio y por las paredes del tubo, se dejó en baño de agua con hielo por 15 min, para posteriormente agitar vigorosamente (en vórtex) y calentar a 50°C en baño María (Thermo Scientific) por 5 min. Transcurrido el tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente por 5 min. Por último, se colocaron 280 µl en cada pocillo de la microplaca para leer las absorbancias en lector de microplaca BIOBASE EL-10 ELISA a 470 nm.

Para la determinación de azúcares totales por espectrofotómetro se utilizó la misma metodología antes mencionada, pero en este caso en lugar de tomar los 400 µl de muestra y de fenol se tomó la cantidad de 500 µl, para que con ayuda de una celda de cuarzo se pudieran leer las absorbancias, el espectro se tuvo que calibrar con 30 min antes de que se utilizara a 480 nm. En la tabla 3 se muestran los parámetros para la curva de calibración en azúcares totales en el lector de microplaca y en la tabla 4 para espectrofotómetro.

Tabla 3.- Parámetros para curva de calibración de azúcares totales (Lector de microplaca BIOBASE EL-10 ELISA).

| Concentración (mg/ml) | Glucosa 0.1% (microlitros) | Agua destilada (microlitros) | Fenol al 5% (microlitros) | Ac. Sulfúrico (microlitros) |
|-----------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 0 | 0 | 250 | 250 | 1000 |
| 0.2 | 50 | 200 | 250 | 1000 |
| 0.4 | 100 | 150 | 250 | 1000 |
| 0.6 | 150 | 100 | 250 | 1000 |
| 0.8 | 200 | 50 | 250 | 1000 |
| 1.0 | 250 | 0 | 250 | 1000 |

Tabla 4.- Parámetros para curva de calibración para azúcares totales (espectrómetro).

| Concentración (mg/ml) | Glucosa 0.1% (µl) | Agua destilada (µl) | Fenol al 5% (µl) | Ac. Sulfúrico (µl) |
|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 500 | 500 | 1000 |
| 0.2 | 100 | 400 | 500 | 1000 |
| 0.4 | 200 | 300 | 500 | 1000 |
| 0.6 | 300 | 200 | 500 | 1000 |
| 0.8 | 400 | 100 | 500 | 1000 |
| 1.0 | 500 | 0 | 500 | 1000 |

7.3. Determinación de azúcares reductores por el método de Miller (1989).

Para esta técnica primero se presenta el proceso para la preparación de un litro de DNS el cual se describe detalladamente a continuación: se precalentó agua destilada (100 ml) en un vaso de precipitado a 50°C con agitación, se adiciono el DNS SIGMA® (10.0 g/l), el Hidróxido de sodio Jalmek® (10.0 g/l), Tartrato de Sodio y Potasio Jalmek® (200.0 g/l), Fenol Jalmek® (2.0 g/l) y por último el Sulfito de Sodio Jalmek® (0.5 g/l), los cuales se adicionan en el orden mencionado, en un matraz de aforación se afora a un litro con agua destilada, el contenido se vierte en un matraz Erlenmeyer de un litro el cual se forra con papel aluminio y se almacena en refrigeración.

Para la técnica de azúcares reductores se tomó con una micropipeta la cantidad de 1000 µl de slurry de melon colocándolo en un tubo de ensaye. Después se añadieron 1000 µl del reactivo preparado (DNS), se sometió a ebullición a baño María (Thermo Scientific) por 5 minutos, se detuvo la reacción mediante un baño con hielo durante 5 minutos. Se adicionaron 5ml de agua destilada y se agitó, se dejó por 5 minutos a temperatura ambiente para después tomar 280 µl y colocarlos en cada pocillo de la microplaca. Para posteriormente leer absorbancias en lector de microplaca BIOBASE EL-10 ELISA a 546 nm.

Para la determinación de azúcares reductores en espectrofotómetro se utilizó la misma metodología antes mencionada (Miller G.L.1989), aquí se colocaba la muestra en celdas de cuarzo para leer absorbancias, el espectro se calibro 30 min antes de utilizarlo a 540 Nm. En la tabla 5 se muestran los parámetros para curva de calibración para azúcares reductores.

Tabla 5.- Parámetros para curva de calibración para azúcares reductores.

| Concentración (mg/ml) | Solución de glucosa al 0.1% (µl) | Agua destilada (µl) | DNS (µl) |
|------------------------------|---|----------------------------|-----------------|
| 0 | 0 | 1000 | 1000 |
| 0.2 | 200 | 800 | 1000 |
| 0.4 | 400 | 600 | 1000 |
| 0.6 | 600 | 400 | 1000 |
| 0.8 | 800 | 200 | 1000 |
| 1.0 | 1000 | 0 | 1000 |

7.4. Extracción de azúcares de la materia prima en fresco.

Para este procedimiento se pesó 1g de la muestra y se colocó en un matraz Erlenmeyer para posteriormente se añadió 40 ml de agua destilada. Se agito durante 20 minutos y se filtró, recibiendo el filtrado en vasos con hielo.

7.5. Determinación de fibra cruda (FD), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente acida (ADF)

Para esta determinación primero se pesaron las bolsas filtro para fibra (porosidad 25 micras), una vez registrado el peso de cada bolsa filtro se etiqueto cada una de acuerdo al tratamiento que se aplicó, como segundo paso se pesó 1g de cada muestra para sellarla con la ayuda de una selladora de impulso, en esta determinación se sometieron las muestras previo al tratamiento de explosión y las muestras después de tratamiento. Posterior a esto con la ayuda del equipo ANKOM se hizo la determinación de fibra cruda con una solución de ácido sulfúrico 0.255±0.005N. 1.25NaOH/100ml posteriormente se encendió la agitación y calentamiento por 40 min, transcurrido este

tiempo se apagó la agitación y calentamiento para desaguar, se procedió a realizar 2 enjuagues con agua destilada previamente calentada a 50-90°C, posterior a los enjuagues se añadió la solución de hidróxido de sodio: 0.3130±005 N. 1.25g NaOH/100ml se encendió agitación y calentamiento por otros 40 min, transcurrido el tiempo se apagó agitación para desaguar y se realizaron otros 2 enjuagues, después de esto se retiraron las bolsas y se quitó el exceso de agua para ponerlas en acetona de 3-5 min se pusieron a secar en la estufa a 102° en un tiempo de 2-4 h; por último se sacaron las muestras de la estufa y se dejó enfriar por 15 min a temperatura ambiente, se pesó cada bolsa para determinar la fibra cruda.

Para la determinación de fibra detergente neutra se utilizó la solución detergente neutro y se añadió 20g de Sulfito y 4ml de alfa amilasa se enciende agitación y calentamiento por 75 min, se hicieron 2 enjuagues con agua destilada + α -amilasa y 1 con agua destilada solamente 70-90°C, se retiraron las bolsas para quitar el exceso de agua, se pusieron en acetona de 3-5 min, para después ponerlas en la estufa a 102°C por 2-4 h, se obtuvo el peso de cada bolsa para determinar fibra detergente neutro.

Para determinar fibra acida se utilizó la solución de fibra detergente acida se encendió la agitación y el calentamiento por 60 min, se hicieron 3 enjuagues con agua destilada a 70-90° C, se apaga la agitación y calentamiento para desaguar y retirar las bolsas para quitar el exceso de agua, se colocan en acetona de 3-5 min, posteriormente se ponen en estufa a 102°C por 2-4 h. Por último, se pesa cada bolsa para determinar fibra detergente acida.

Para la determinación del % de fibra se utilizaron crisoles los cuales se pusieron a peso constante a 60°C por 24h, se etiquetó cada crisol. Transcurrido las 24h se sacaron los crisoles de la estufa con la ayuda de unas tenazas y se pusieron en un desecador durante 15min para posteriormente pesar cada crisol. Una vez obtenido el peso de los crisoles se procedió a colocar cada bolsa con la muestra dentro en cada crisol para ponerlos en la parrilla y poder quemar la muestra, una vez quemada la muestra se pusieron los crisoles en la mufla a 600°C por 2h para calcinar las muestras, tras pasar las 2h se esperó a que bajara la temperatura de la mufla para sacar los crisoles y

ponerlos en el desecador se esperó 15min para pesar los crisoles y así poder determinar el % de cenizas.

7.6. Aplicación del método de explosión de vapor.

La materia prima separada por partícula se sometía a tratamiento de explosión de vapor, en donde se colocaban los 5g de la muestra en el tubo de acero inoxidable, en la parte donde se encontraba la autoclave se encendía la llama, para que esta llegara a la temperatura deseada (250°C-270°C), posteriormente se abría la llave de paso, para liberar el vapor concentrado en la olla de presión y que este pasara a través del tubo de cobre para llegar a la cámara de explosión en donde se encontraba la muestra, se medía el tiempo de resistencia con ayuda de un software de registro de datos PicoLog 6, por medio de monitoreo de temperatura a través de termopares tipo J. En la figura 4 se muestra el diagrama del equipo de hidrolisis térmica. En la tabla 6 se muestran los tratamientos a los que se sometió la materia (cáscara y semilla de melón).

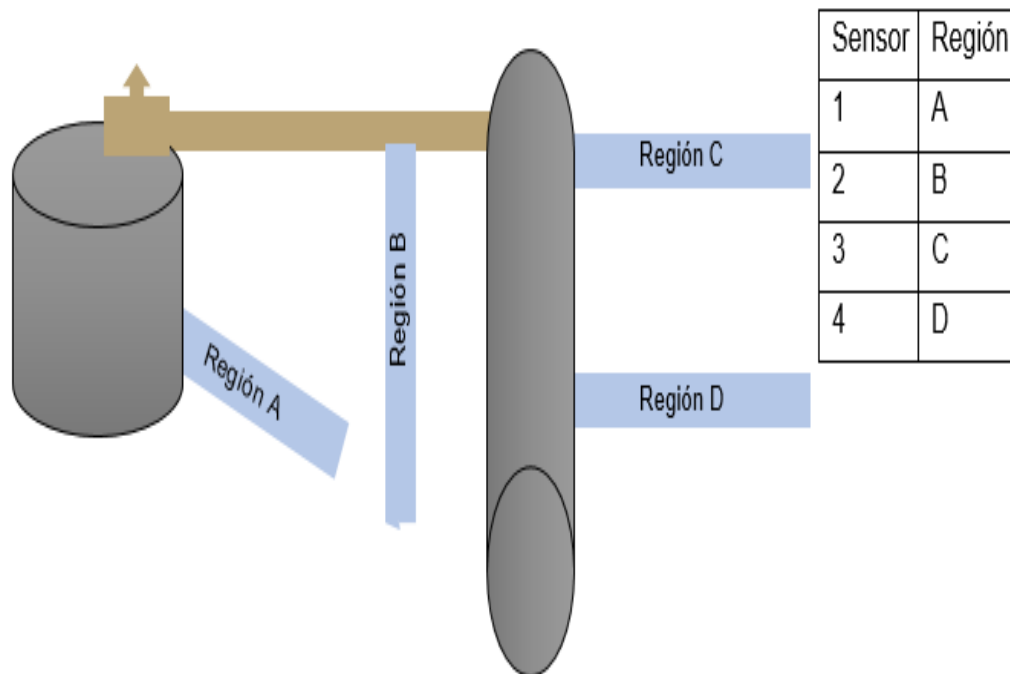


Figura 4.- Diagrama del equipo de hidrólisis térmica.

Tabla 6.-Tratamientos de fracciones sólidas con hidrolisis térmica.

| Tratamiento | Temperatura | Tiempo | Tamaño de partícula |
|-------------|-------------|--------|---------------------|
| T1 | 130°C | 5 min | #8 |
| T2 | 130°C | 10 min | #12 |
| T3 | 130°C | 20 min | #20 |
| T4 | 120°C | 10 min | #8 |
| T5 | 120°C | 20 min | #12 |
| T6 | 120°C | 5 min | #20 |
| T7 | 110°C | 20 min | #8 |
| T8 | 110°C | 5 min | #12 |
| T9 | 110°C | 10 min | #20 |

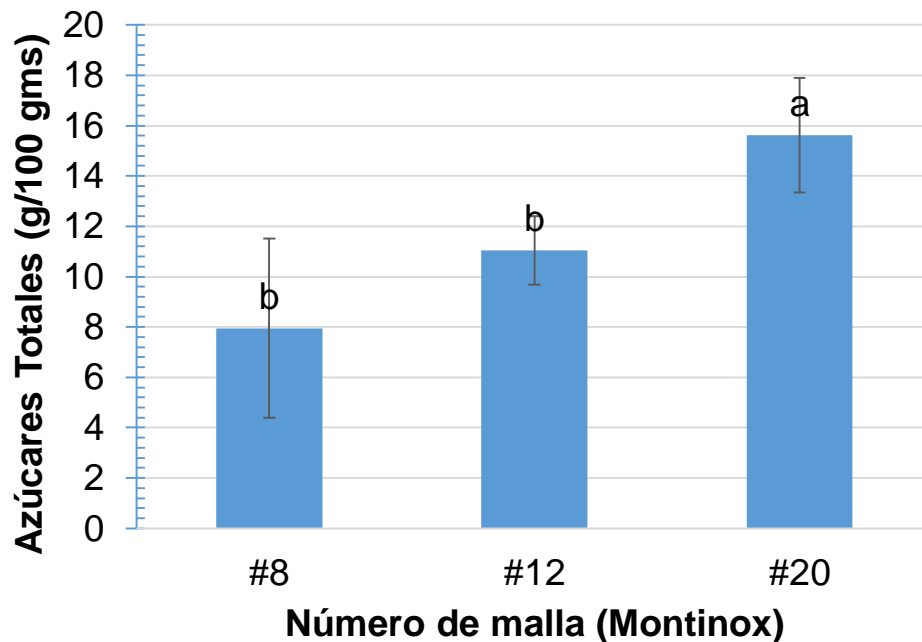
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La aplicación de pretratamientos tiene como objetivo alterar el tamaño, la estructura y composición de la biomasa lignocelulósica. El análisis químico de las muestras permite determinar parámetros y el potencial que estas tienen como materia para su uso y aprovechamiento futuro, así como permitir que, la hidrólisis de la fracción de carbohidratos a azúcares monoméricos pueda lograrse rápidamente y con eficiencia. Este tipo de análisis permite conocer la relación que existe entre la eficiencia de extracción y el tamaño de partícula de la muestra (*Cucumis melo L.*)

8.1. Análisis químico del residuo de melón (*Cucumis melo L.*).

8.1.1. Concentración de azúcares totales y reductores en la cáscara y semilla de melón, clasificada por tamaño de partícula previo al tratamiento de hidrolisis.

La determinación de azúcares totales previo al tratamiento, se realizó por triplicado. En la gráfica 1 se muestra que la mayor concentración de azúcares totales presentes en el residuo de melon, se obtuvo en el tamaño de partícula de la malla #20 (0.841 mm) con (15.8g /100 gms) superando la concentración de azúcares totales obtenida en la malla #8 (2.38 mm) con (8g /100 gms).



Gráfica 1.- Azúcares totales en las muestras de melón deshidratado previo al proceso de hidrólisis térmica.

Las barras muestran la desviación estándar. Letras iguales indican que no hay diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

Se observó que de los tres tamaños de partícula con los que se trabajó se tuvieron variaciones en los valores obtenidos siendo el tamaño de partícula de 0.841 mm la que presenta los mejores valores de azúcares totales liberados. Esta liberación puede ser posible debido al tamaño de partícula de la muestra ya que esta puede interactuar con facilidad con el compuesto químico, y permite una mejor distribución superficial.

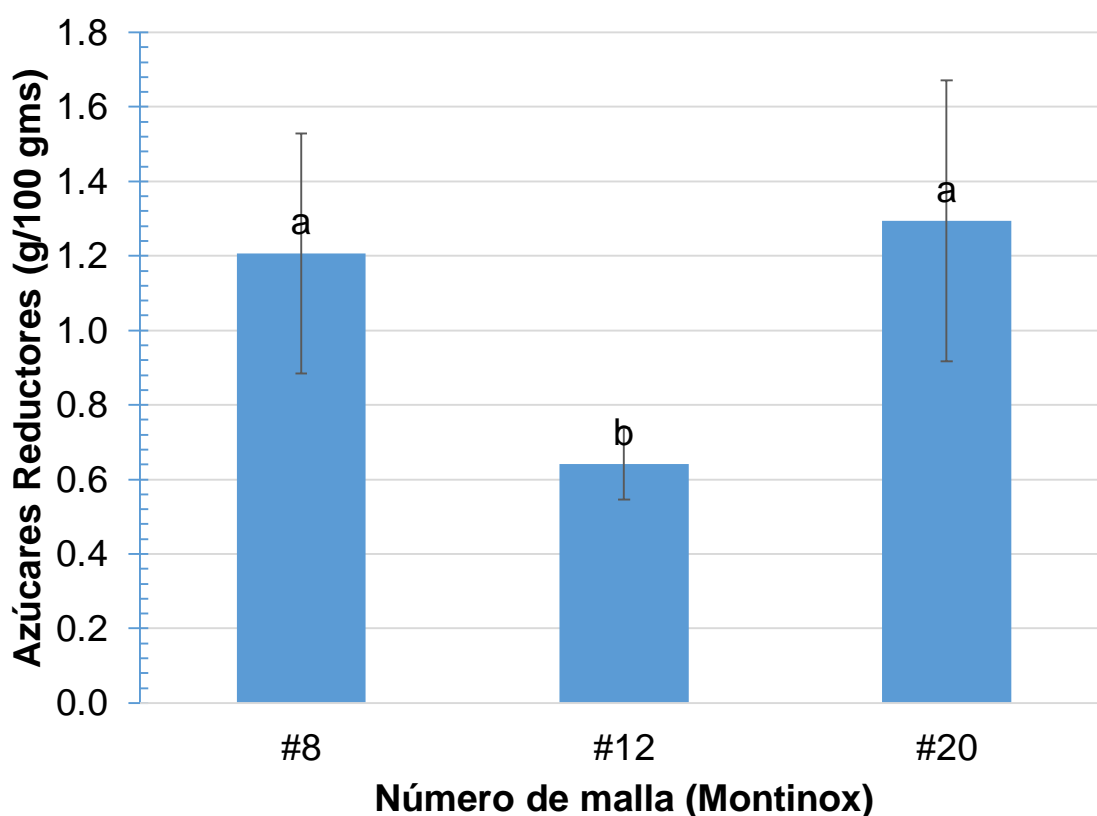
Jiménez Islas *et al.*, (2012) mostraron el efecto de la concentración del ácido en los procesos de hidrolisis y se menciona la interferencia que se puede dar debido a los diferentes tamaños de partículas de la materia.

Los azúcares como la glucosa, fructuosa y sacarosa se acumulan especialmente en el jugo celular; los almidones son los carbohidratos de reserva y se encuentran en forma de plastidios; la hemicelulosa y pectinas son los polisacáridos que conforman el material estructural y las gomas son productos de desecho.

Los factores que afectan el proceso son el tiempo del tratamiento al que está expuesta la materia, la temperatura, el tamaño de partícula utilizado y el contenido de humedad (Laura Cuervo, 2009). Es por los factores antes mencionados, que se incrementa la importancia de conocer la concentración de azúcares totales en los residuos de melón (*Cucumis melo L.*).

Un azúcar reductor, desde el punto de vista químico, se define como la reacción entre grupos de aminos primarios de aminoácidos, péptidos o proteínas, con el grupo carbonilo (grupo funcional formado por un átomo de carbono unido a un átomo de oxígeno mediante doble enlace $-(C=O)$) de los azúcares reductores. Este tipo de azúcares poseen una alta reactividad debido a los grupos carbonilos disponibles, produciendo alteraciones en los aminoácidos. Un ejemplo de azúcar reductor más abundante es la glucosa (Lund & Ray, 2017). La glucosa es el monosacárido más importante esto lleva a que este sea el azúcar reductor generalmente considerado en las reacciones de glucosilación no enzimáticas de mayor interés biológico.

La determinación de azúcares reductores previo al tratamiento, se realizó por triplicado. En donde la gráfica 2 muestra que la mayor concentración de azúcares reductores presentes en el residuo de melón, se obtuvo en el tamaño de partícula de la malla #20 (0.841 mm) con (1.3 g/100 gms), superando la concentración de azúcares reductores obtenida en la malla #12 (1.68 mm) con (0.6 g/100 gms).



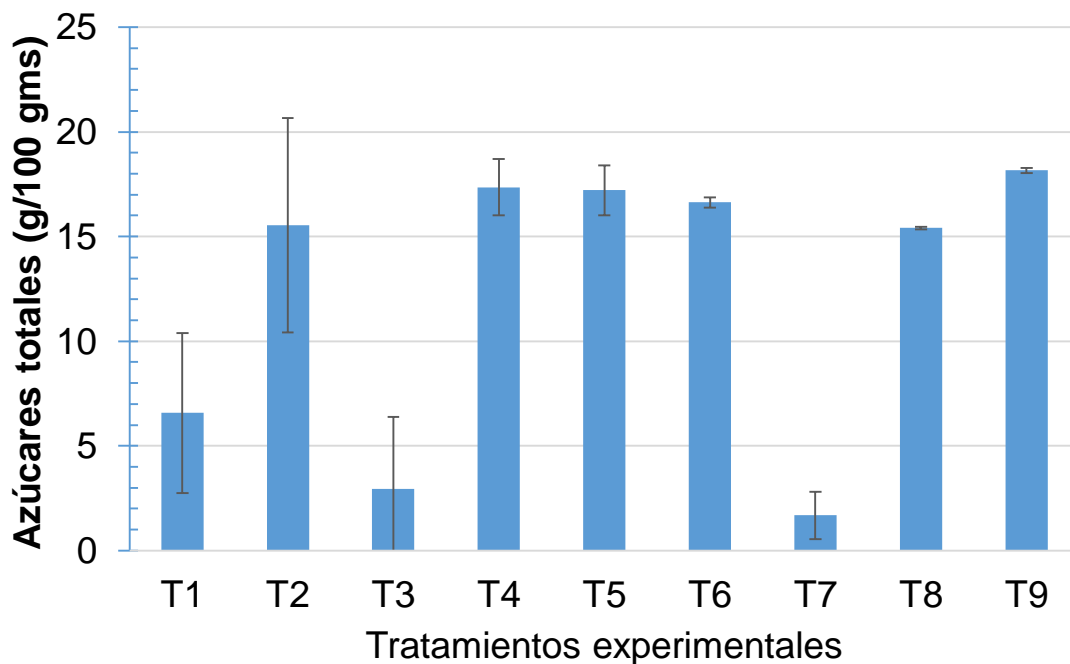
Gráfica 2.- Azúcares reductores en las muestras de melón deshidratado previo al proceso de hidrólisis térmica.

Las barras muestran la desviación estándar. Letras iguales indican que no hay diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

8.2. Valorización de azúcares liberados en el tratamiento de hidrólisis térmica.

8.2.1. Cuantificación de azúcares totales en el slurry del residuo de melón (*Cucumis melo L.*) obtenido de la hidrólisis.

La grafica 3 muestra la concentración de azúcares totales en el slurry del residuo del melon fue mayor en el tratamiento 9 (Tiempo 10 min, Temperatura 110°C, Tamaño de partícula #20), con una concentración de 18.15 g/100 gms, superando a la concentración de azúcares totales obtenido en el tratamiento 7 (Tiempo 20 min, Temperatura 110°C, Tamaño de partícula #8), con una concentración de 1.68 g/100 gms.



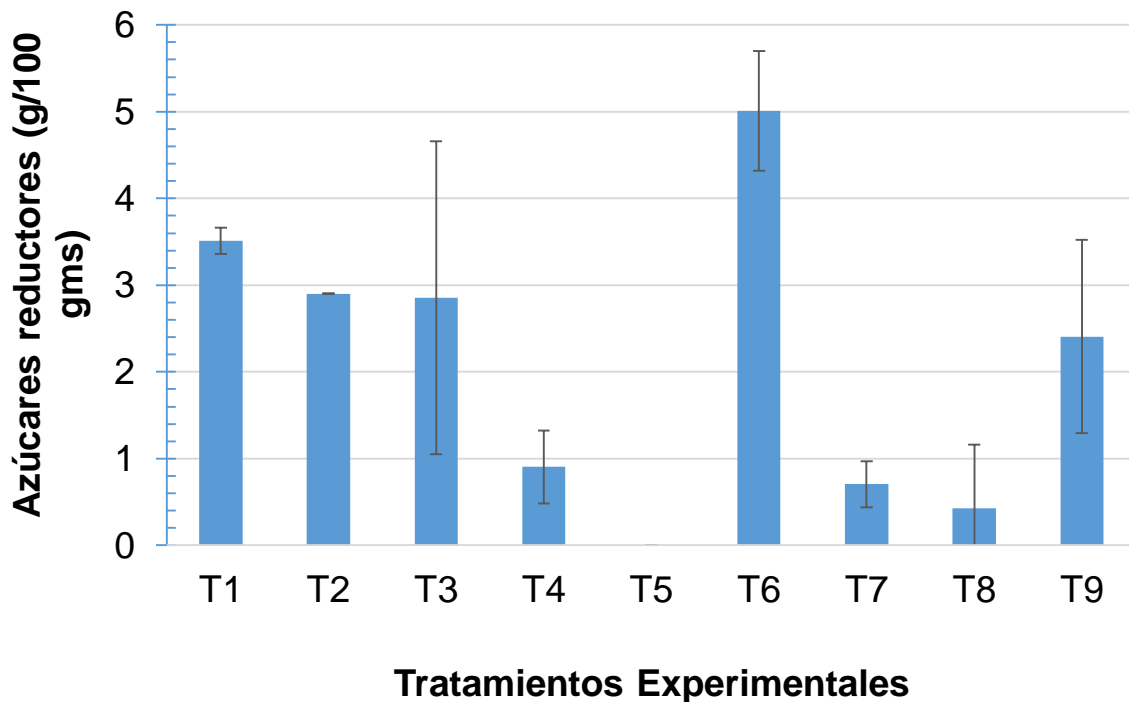
Gráfica 3.- Azúcares totales en las muestras de melón deshidratado en cada uno de los tratamientos del proceso de hidrólisis térmica.

Las barras muestran la desviación estándar.

Como se muestran los resultados en la gráfica 3 se observa que en el slurry y bajo las condiciones del tratamiento 9 se observa una mayor concentración de azúcares totales, dicha concentración está por arriba de las referencias de la gráfica 1, lo que sugiere que gran parte de los azúcares liberados se encuentran en el slurry que se obtiene después del tratamiento.

8.2.2 Cuantificación de azúcares reductores en el slurry del residuo de melón (*Cucumis melo L.*) obtenido de la hidrólisis.

La gráfica 4 muestra la concentración de azúcares reductores en el slurry del residuo del melón fue mayor en el tratamiento 6 (Tiempo 5 min, Temperatura 120°C, Tamaño de partícula #20), con una concentración de 5.01 g/100 gms, superando a la concentración de azúcares reductores obtenido en el tratamiento 5 (Tiempo 20 min, Temperatura 120°C, Tamaño de partícula #12), con una concentración de 0.00 g/100 gms.



Gráfica 4.- Azúcares totales en las muestras de melón deshidratado en cada uno de los tratamientos del proceso de hidrólisis térmica.

Las barras muestran la desviación estándar.

Cabe mencionar que en donde se da una mayor concentración de azúcares reductores es en el tratamiento 6, referente al gráfico se observa que en donde se tiene una baja liberación de azúcares reductores es en el tratamiento 5, esto puede deberse al tiempo de residencia en el proceso en el que se somete la materia al tratamiento térmico, en el cual afectan el tamaño de partícula, el tiempo al que se expone la materia. En cuanto a la determinación de azúcares totales previo al tratamiento de hidrólisis térmica, resultó haber una mayor liberación de azúcares en el tamaño de partícula #20, al igual que en la determinación de azúcares reductores se obtuvo mayor liberación de estos en el tamaño de partícula #20. En la determinación de azúcares totales después del tratamiento de hidrólisis térmica resultó ser mejor bajo las condiciones del tratamiento 9 (Tiempo 10 min, Temperatura 110°C, Tamaño de partícula #20).

Y en cuanto a azúcares reductores después del tratamiento resultó mejor bajo las condiciones del tratamiento 6 (Tiempo 5 min, Temperatura 120°C, Tamaño de partícula #20).

8.3. Optimización del proceso de hidrólisis por el método ortogonal Taguchi L-9

Se realizó la optimización del proceso de hidrólisis térmica mediante el diseño ortogonal L-9 (Tabla 8 y 9), analizando tres factores (Tabla 7), tiempo 5, 10, 20 minutos; temperatura 110°C, 120°C, 130°C y tamaño de partícula #8, #12, #20.

Tabla de diseño experimental ortogonal L9

Tabla 7.- Tratamientos obtenidos del diseño experimental para el proceso de tratamiento hidrotérmico y la cuantificación de azúcares totales y reductores de cada uno.

| | Temperatura | Partícula | Tiempo | Az. Totales (g/100 gms) | Az. Reductores (g/100 gms) |
|-----------|-------------|-----------|--------|----------------------------|-------------------------------|
| T1 | 110 | #8 | 5 | 6.57 ± 3.81 | 3.51 ± 0.15 |
| T2 | 110 | #12 | 10 | 15.54 ± 5.13 | 2.90 ± 0.00 |
| T3 | 110 | #20 | 20 | 2.93 ± 3.44 | 2.86 ± 1.81 |
| T4 | 120 | #8 | 10 | 17.35 ± 1.34 | 0.91 ± 0.42 |
| T5 | 120 | #12 | 20 | 17.21 ± 1.20 | 0.00 ± 0.00 |
| T6 | 120 | #20 | 5 | 16.63 ± 0.25 | 5.01 ± 0.69 |
| T7 | 130 | #8 | 20 | 1.68 ± 1.13 | 0.71 ± 0.27 |
| T8 | 130 | #12 | 5 | 15.40 ± 0.07 | 0.43 ± 0.74 |
| T9 | 130 | #20 | 10 | 18.15 ± 0.11 | 2.41 ± 1.11 |

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 8.- ANOVA del efecto de los factores en los tratamientos de hidrólisis térmica sobre la cuantificación de los azúcares totales.

| Fuente | GL | SC Sec. | SC Ajust. | MC Ajust. | F | P |
|----------------|----|---------|-----------|-----------|-------|-------|
| Temperatura | 2 | 232.29 | 232.29 | 116.147 | 17.99 | 0.053 |
| Partícula | 2 | 154.59 | 154.59 | 77.297 | 11.97 | 0.077 |
| Tiempo | 2 | 249.57 | 249.57 | 124.787 | 19.32 | 0.049 |
| Error residual | 2 | 12.91 | 12.91 | 6.457 | | |
| Total | 8 | 649.38 | | | | |

Como se puede observar en la tabla 8 el tiempo de duración de proceso tiene un valor $P \leq 0.050$. Por lo tanto, se puede establecer que es significativamente influyente para la liberación de azúcares totales. Para entender esto de manera más precisa se puede recurrir al gráfico que se realizó con el diseño Taguchi en el que se logró determinar que el factor más influyente para la liberación de azúcares totales es el tiempo de duración de proceso, seguida de la temperatura (Figura 5). En análisis del valor P se evidencia que para la interacción del factor tamaño de partícula este posee un valor mayor a 0.050, lo que indica que los factores tiempo y temperatura tienen influencia únicamente si son analizados de forma individual.

Tabla 9.- ANOVA del efecto de los factores en los tratamientos de hidrólisis térmica sobre la cuantificación de los azúcares reductores.

| Fuente | GL | SC Sec. | SC Ajust. | MC Ajust. | F | P |
|----------------|----|---------|-----------|-----------|------|-------|
| Temperatura | 2 | 5.522 | 5.522 | 2.761 | 1.66 | 0.376 |
| Partícula | 2 | 8.673 | 8.673 | 4.336 | 2.61 | 0.277 |
| Tiempo | 2 | 4.837 | 4.837 | 2.418 | 1.46 | 0.407 |
| Error residual | 2 | 3.321 | 3.321 | 1.661 | | |
| Total | 8 | 22.353 | | | | |

En el caso del slurry del residuo de melón, los factores temperatura, tamaño de partícula y tiempo de duración de proceso en los niveles individuales evaluados, no mostraron efectos estadísticos significativos ($p \leq 0.100$).

El mayor efecto para la liberación de azúcares reductores para el slurry del residuo de melón es el tamaño de partícula, seguido por la temperatura (Figura 6).

En los gráficos de efectos principales, se indica que los factores a considerar para que haya una mejor liberación de azúcares son la Temperatura 2 (120°C), Tiempo 2 (10 minutos) y Tamaño de partícula 2 (#12).

La autora Marjorie Herrera (2005). En su trabajo; “Hidrólisis térmica del bagazo de la caña para la producción de etanol vía fermentación”, llevo a cabo su experimento utilizando temperaturas de 169.9, 179.8, 185.5°C y tiempos de 20 min, 40 min, 60 min. En donde se determinó que para tiempos de hidrólisis de 20 minutos las concentraciones de azúcares reductores tienden a ser mayores que las obtenidas en los otros tiempos. La temperatura de 169.9°C es en donde se obtuvieron valores más altos en las concentraciones de azúcares, en comparación a las temperaturas correspondientes de 179.8°C y 185.5°C. Las concentraciones de azúcares reductores disminuyen, conforme el tiempo y la temperatura de hidrólisis aumenta.

El autor Texco-López *et al.*, 2019. En su trabajo: “EFECTO DEL PRETRATAMIENTO HIDROTÉRMICO (ALTA PRESIÓN) E HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE CLADODIOS DE *Opuntia ficus-indica* SOBRE LA LIBERACIÓN DE AZÚCARES Y SU USO POTENCIAL EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL”. Su trabajo se llevó a cabo con temperaturas de 150°C, 175°C, 185°C, 205°C y tiempos de 1min, 5min y 15 min. En donde se determinó una mayor liberación de azúcares en el intervalo de temperatura de 175°-185°. A 150°C presentó una menor liberación de azúcares, debido posiblemente a que hay un porcentaje muy bajo de hidrólisis de la celulosa. Este comportamiento se ha observado con otros sustratos y probablemente se deba a que no se reúne la energía suficiente para ionizar el agua del medio (H⁺) y liberar el ácido acético de las cadenas de este biopolímero (Carvalho *et al.*, 2009). Por otra parte; observaron que a 205°C también se tienen bajas cantidades de azúcares, resultado que puede deberse a que temperaturas más elevadas, los azúcares comienzan un

proceso de degradación por pirolisis, con la consecuente formación de furfurales, CO₂ Y H₂O (Baêta *et al.*, 2016).

Finalmente observaron que 175°C y 5 min fueron las condiciones de mayor porcentaje de hidrolisis ya que con ellas obtuvieron la mayor cantidad de azúcares liberados.

La autora Mariela Chávez en su trabajo: “Termo-hidrólisis para la liberación de azúcares monoméricos en residuos agrícolas (termo-hidrolisis de agroresiduos)”. En su estudio realizado trabajaron con bagazo de uva y granada, en donde las condiciones para el tratamiento térmico utilizaron presiones de 10 Psi (110°C); 15 Psi (120°C); 20 Psi (125°C) y tiempos de 5 min, 10 min y 15 min. Con lo cual pudo determinar que las condiciones que más favorecen a la liberación de azúcares reductores en el hidrolizado del bagazo de uva, es con tiempos de 10 minutos, temperatura 115°C y con el tamaño de partícula #12. Mientras que para el Slurry del bagazo de uva es bajo condiciones de tiempo de 15 min, temperatura de 120°C y tamaño de partícula #8.

Para las condiciones en el hidrolizado del bagazo de granada, determino que para que haya una mayor liberación de azúcares es bajo tiempos de 15 min, con temperatura de 125°C y con el tamaño de partícula # 12; mientras que para el Slurry del bagazo de granada es bajo tiempos de 5 min, temperatura de 120°C y con tamaño de partícula #8.

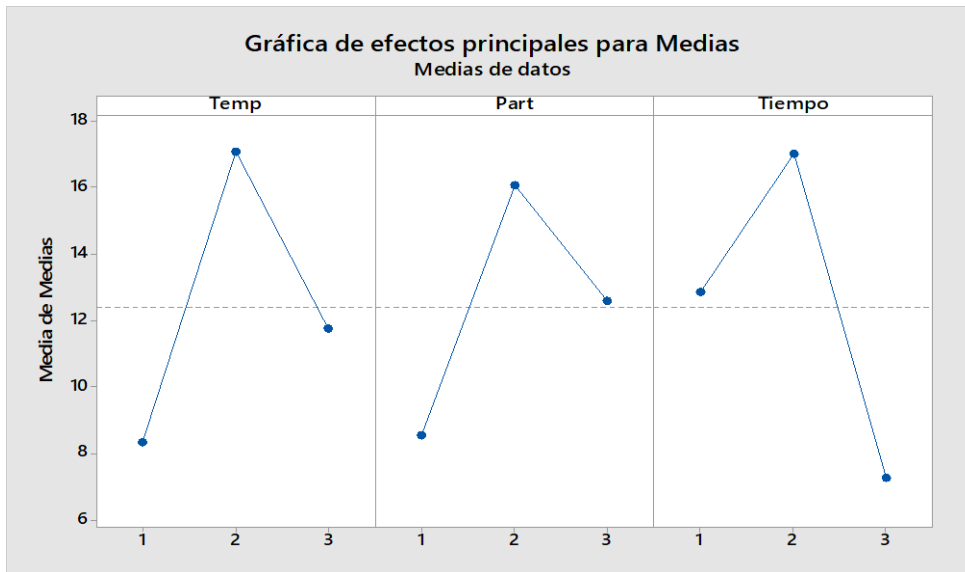


Figura 5.- Efectos principales de los tratamientos de hidrólisis térmica sobre la cuantificación de azúcares totales.

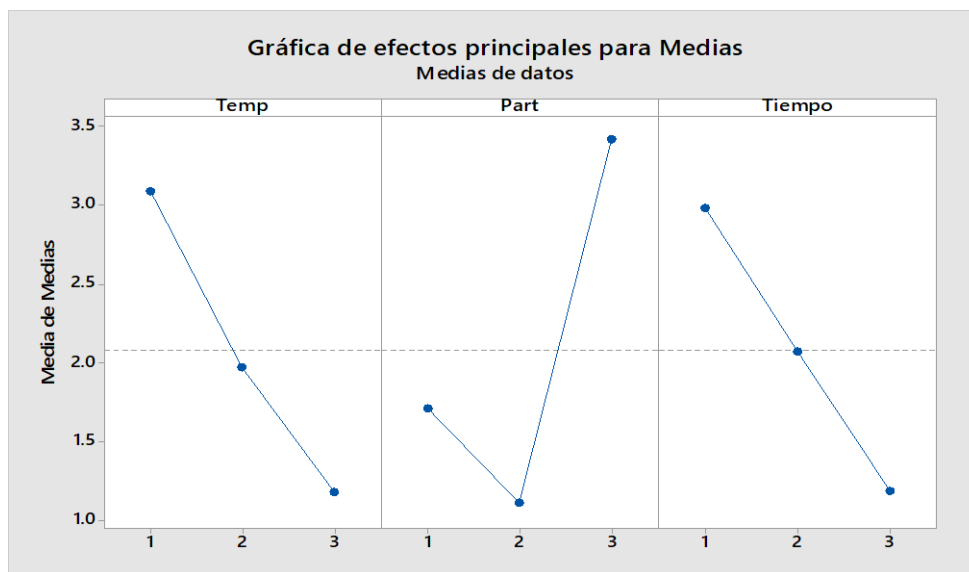


Figura 6.- Efectos principales de los tratamientos de hidrólisis térmica sobre la cuantificación de azúcares reductores.

Análisis posterior a la optimización

Análisis de Taguchi: FC (g/100gms) vs. Temp, Part, Tiempo

Valor promedio de 0.0081677 lo que equivale al 0.82% de azúcares para las muestras con los siguientes niveles de factores: Temp-2, Part-2, Tiempo-2.

9. CONCLUSIÓN

Para llevar a cabo el proceso de hidrólisis térmica, la materia prima a utilizar debe pasar por un cambio físico, como la adecuación en el tamaño de partícula. El proceso de hidrólisis térmica logra liberar gran parte de azúcares presentes en el melón, a comparación de las muestras previo a la hidrólisis térmica.

Los resultados mostraron que el tamaño de partícula influye en la liberación de azúcares. Además, el tiempo de exposición es una variable a considerar si se desea tener una mayor concentración de azúcares en residuos agroindustriales y así optimizar su aprovechamiento.

En los cuadros de ANOVA referente a azúcares totales la variable estadística significativa es el tiempo, este factor afecta al proceso de liberación de azúcares. Y en el cuadro ANOVA para azúcares reductores se observó que la variable estadística significativa fue el tamaño de partícula. Lo cual indica que la hipótesis es aceptada debido a que el tiempo de exposición a la hidrólisis térmica y el tamaño de partícula si afectan en la liberación de azúcares.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Al-Naqeep**, G., Al-Zubairi, AS, Ismail, M., Amom, ZH y Esa, NM (2011). Potencial antiaterogénico de semillas de *Nigella sativa* y aceite en el hipercolesterolemia inducida por la dieta en conejos. *Medicina alternativa y complementaria basada en evidencias*, 2011.
- ASERCA**, A. Servicios a la Comercialización Agropecuaria. (2000). El Melón Mexicano: Ejemplo de Tecnología Aplicada. *Revista Claridades Agropecuarias*, 84.
- Acosta**, R., Galván, L., Quiñones, P., Chávez, S. N. (2010). Melón. Paquete Tecnológico Agrícola. Instituto Nacional de Investigación Forestales Agrícolas y Pecuarias- Chihuahua. En línea: <http://es.slideshare.net/casuza/paquetes-tecnologicos>. (24, marzo, 2020).
- Anguera**., A. (2007). Efectos de la fibra soluble cáscaras de *Plántago ovata* sobre factores lipídicos de riesgo cardiovascular. Tesis Doctoral en Nutrición y Metabolismo Unidad de Lípidos y Ateroesclerosis, 49.
- Bauer**, S., Sorek, H., Mitchell, V.D., Ibáñez, A.B. & Wemmer, D.E. (2012). Characterization of *Miscantus giganteus* lignin isolated by ethanol Organosolv process under reflux condition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 8203-8212.
- Badui**, D.S. (2006). Química de los alimentos (cuarta edición) [archivo PDF]. Ciudad de Mexico. Pearson educación. Pp. 51-72. Recuperado el 08 de noviembre de 2019. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Libro-Badui2006_26571.pdf.
- Casas**, R., & Blancas, J. (2016). Ethnobotany of Mexico: Interactions of People and Plants in Mesoamerica. Tlanepianta, Estado de México.
- Chávez-Sifontes**, M., & Domine, M. E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15-46.

- Casanueva, E.** (2011). *Nutriología Médica*. Panamericana.
- Cuervo, L., Folch, J. L., & Quiroz, R. E.** (2009). Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol. *BioTecnología*, 13(3), 11-25.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebersy, P. t. and Smith, F.** (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3): 350-356.
- Delfín, K. C., López, A. C., & Mondragón, M. C.** (2016). Subproductos obtenidos a partir de distintas cáscaras de fruta. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 3(5).
- Escandón-Guichard, J. y Pineda-Domínguez, D.** (2014). El comercio exterior agroindustrial mexicano y sus estrategias de exportación. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (200).
- FAO.** (2014). Residuos Agrícolas y Residuos Ganaderos. www.fao.org/publication:http://www.fao.org/3/a-bp843s.pdf. (27, febrero,2020).
- Fengel, D., & Wegener, G.** (1984). Wood: chemistry, ultrastructure. *Reactions*, 613, 1960-1982.
- Freire C.S.R., Silvestre A.J.D., Neto C.P., Gandini A., Fardim P. y Holmbom B.** (2006). Surface characterization by XPS, contact angle measurements and ToF-SIMS of cellulose fibers partially esterified with fatty acids. *Journal of Colloid and Interface Science*, 301, 205-209.
- García, M. C., Morales, S. G., Mendoza, A. B., Rodríguez, A. C., de la Fuente, M. C., Vázquez, D. M., & Olivo, A. R.** (2020). Termo-hidrólisis para la liberación de azúcares monoméricos en residuos agrícolas. *Revista Bio Ciencias*, 7, 15.
- Gellerstedt, G. & Henriksson, G.** (2008). Lignins: Major sources, structure and properties. En M. Naceur Belgacem, & A. Gandini (Edits.), *Monomers*,

Polymers and Composites from Renewable Resources (págs. 201- 224).
Amsterdam: Elsevier B.V.

Gírio, FM, Fonseca, C., Carvalheiro, F., Duarte, LC, Marques, S. y Bogel-Lukasik, R. (2010). Hemicelulosas para combustible de etanol: una revisión. *Tecnología de fuentes biológicas*, 101 (13), 4775-4800.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R. y Meybeck, A. (2011). Pérdidas y desperdicio de alimentos a nivel mundial.

Gutiérrez, D.A. (2019). Proceso de termo hidrólisis para la liberación de azúcares monoméricos en residuos agroindustriales. Pp. 8-12. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.

Grass-Ramírez, J. F. (2011). El enfoque de sistemas agroindustriales. *Textual*. (56), 123- 136.

Greenberg, N.A. y Mahoney, R.R. 1983. "Formation of oligosaccharides by b-galactosidase from *Streptococcus thermophilus*", *Food Chemistry*, 10:195.

Herrera Montoya, M. (2005). Hidrólisis térmica del bagazo de la caña de azúcar para la producción de etanol vía fermentación.

Huerta, G. P. (2009). Beneficio de la fibra dietética en enfermedades crónico-degenerativas. *Revista Médica Uv*, 5.

HRS, E. (2019). <https://www.hrs-heatexchangers.com>. Recuperado el 28 de marzo de 2019, de TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: <https://www.hrs-heatexchangers.com/es/medioambiental/tratamiento-de-aguas-residuales/>. (24, marzo, 2020).

INVIMA, G. T. (2016). Programa de bebidas alcohólicas, manual de inspección con enfoque en el riesgo. Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, 15.

Jáuregui, A. M. M., Ramos-Escudero, D. F., Ureta, C. A. O., & Castañeda, B. C. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos

fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(3), 142-149.

Jacquet N., G. Maniet, C. Vanderghem, F. Delvignet and F. Richel. 2016. Application of steam explosion as pretreatment on lignocellulosic material: a review. *Ind. Eng. Chem. Res.* 54(10):2593-2598.

Jiménez Islas, D., Abreu Corona, A., López y López, V. E., Tellez Jurado, A. and Gracida Rodríguez, J. N. (2012). Obtención de azúcares fermentables mediante hidrólisis ácida de *Beta vulgaris* L. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28 (2): 151-158. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000200006. (31, marzo, 2020).

Kavanaugh, C. (2002). LOS DISEÑOS DE TAGUCHI CONTRA LOS DISEÑOS CLÁSICOS DE EXPERIMENTOS. *Conciencia Tecnológica*, Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Aguascalientes., 5.

Kumar, P., Barrett, DM, Delwiche, MJ y Stroeve, P. (2009). Métodos de pretratamiento de biomasa lignocelulósica para la producción eficiente de hidrólisis y biocombustible. *Investigación en química industrial y de ingeniería*, 48 (8), 3713-3729.

Lischeske J. J., N. C. Crawford, E. Kuhn, N. J. Nagle, D. J. Schell, M. P. Tucker, J. D. McMillan and E. J. Wolfrum. 2016. Assessing pretreatment reactor scaling through empirical analysis. *Biotechnol Biofuels* 9:213.

Lund, M. N., & Ray, C. A. (2017). Control of Maillard Reactions in Foods: Strategies and Chemical Mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(23), 4537–4552. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00882>. (27, febrero, 2020).

Mallek-Ayadi, Sana, Bahloul, Neila, Kechaou, Nabil, 2018. Chemical composition and bioactive compounds of *Cucumis melo* L. seeds: Potential source for new

trends of plant oils. *Process Safety & Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part B*. Jan2018, Vol. 113, p68-77. 10p.

Matsakas, L., Nitsos, C., Raghavendran, V., Yakimenko, O., Persson, G., Olsson, E., ... & Christakopoulos, P. (2018). A novel hybrid organosolv: steam explosion method for the efficient fractionation and pretreatment of birch biomass. *Biotechnology for biofuels*, 11(1), 160.

Medina, J. D. C., Woiciechowski, A., Zandona Filho, A., Nigam, P. S., Ramos, L. P., & Soccol, C. R. (2016). Steam explosion pretreatment of oil palm empty fruit bunches (EFB) using autocatalytic hydrolysis: A biorefinery approach. *Bioresource technology*, 199, 173-180.

Menon, V., & Rao, M. (2012). Trends in bioconversion of lignocellulose: biofuels, platform chemicals & biorefinery concept. *Progress in energy and combustion science*, 38(4), 522-550.

Miller, Fátima A., Fundo, Joana F., Silva, Cristina L.M., Brandão, Teresa R. S. 2018. Physicochemical and Bioactive Compounds of 'Cantaloupe' Melon: Effect of Ozone Processing on Pulp and Seeds. *Ozone: Science & Engineering*. May/Jun2018, Vol. 40 Issue 3, p209-215. 7p. 1 Chart, 2 Graphs, 1 Map.

Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical chemistry*, 31(3): 426- 428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>. (24, marzo, 2020).

Olguin, J. Q., Patlán, E. E. S., & García, J. S. (2018). USO DE LA EXPLOSIÓN SÚBITA DE VAPOR COMO PRETRATAMIENTO PARA FRACCIONAR BIOMASA (USE OF STEAM EXPLOSION AS PRE-TREATMENT TO FRACTION BIOMASS). *Pistas Educativas*, 40(131).

Qualid Hamdaoui, Fethi Saoudi, Mahdi Chiha, 2010. Utilization of an agricultural waste material, melon {Cucumis melo L.) peel, as a sorbent for the removal of

cadmium from aqueous phase. Laboratory of Environmental Engineering, Department of Process Engineering, Faculty of Engineering, University of Annaba, P.O. Box 12, 23000 Annaba, Algeria.

Pourmakhdomi, A. A. 2014. Comparison of energy balances of steam explosion and torrefaction technologies. Master's Thesis. Lappeenranta University of Technology. Lappeenranta, Finlandia. 85 p.

QIAN, OY, **HARITH**, S., **RAZIFSHHRIL**, M. y **SHAHIDAN**, N. (1999). COMPUESTOS BIOACTIVOS EN Cucumis melo L. Y SUS EFECTOS BENEFICIOSOS PARA LA SALUD: UNA REVISIÓN ALCANCE.

Ramos-Casselis, M. E. (2015). BUAP crea fibra, alimento y biocombustible de residuos frutales. Comunicación institucional BUAP. Recuperado de: http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd. (31, marzo,2020).

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *BioTecnología*, 16(2), 14-46.

Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación SAGARPA-Laguna. 2008. Delegación Federal en la Comarca Lagunera. Anuarios Estadísticos 1980-2007.

SAGARPA-Laguna. 2017. Estadísticas del sector agropecuario y forestal de la Comarca Lagunera. Delegación de SAGARPA en la Comarca Lagunera. Subdelegación de Planeación. Cd. Lerdo, Dgo.

Secretaria de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2004. Plan Rector del Sistema Producto Melón en la Comarca Lagunera. Delegación de la SAGARPA en la Comarca Lagunera. Ciudad Lerdo, Dgo. 34 p.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) SAGARPA. 2010. Anuarios Estadísticos de la Producción Agrícola. México, D. F.

- Solares, C.** (2013). *Estudio comparativo de los niveles de sacarosa y azúcares reductores de la miel de abeja* (Doctoral dissertation, Tesis Lic. San Carlos, Guatemala, Universidad San Carlos de Guatemala).
- Texco-López, A., Álvarez-Cervantes, J., Cadena-Ramírez, A., Castro-Rosas, J., Gómez-Aldapa, C. A., & Téllez-Jurado, A.** (2019). EFECTO DEL PRETRATAMIENTO HIDROTÉRMICO (ALTA PRESIÓN) E HIDROLISIS ENZIMÁTICA DE CLADODIOS DE *Opuntia ficus-indica* SOBRE LA LIBERACIÓN DE AZÚCARES Y SU USO POTENCIAL EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 1039-1049.
- Valdez-Vázquez, I., Acevedo-Benítez, J. A. y Hernández-Santiago, C.** (2010). Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renew. Sust. Energy Rev.* 14 (7), 2147-2153.
- Vanholme, R., Morreel, K., Ralph, J., & Boerjan, W.** (2008). Lignin engineering. *Current opinion in plant biology*, 11(3), 278-285.
- Velásquez, G.** (2006). *Fundamentos de alimentación saludable*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Wang, K., Chen, J., Sun, SN y Sun, RC** (2015). Explosión de vapor. En *Pretratamiento de biomasa* (págs. 75-104). Elsevier.
- Wolbers P., M. Cremers, T. Robinson, S. Madrali and G. Tourigny.** 2018. Biomass pre-treatment for bioenergy. Case study 4: The steam explosion process technology. IEA Bioenergy. 16 p.
- Ying Q. O., Harith S., Mohd R. S. y Norshazila S.,** 2019, BIOACTIVE COMPOUNDS IN *Cucumis melo* L. AND ITS BENEFICIAL HEALTH EFFECTS: A SCOPING REVIEW <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=98104bf0-6b55-4f85-b753-fa7bab86a7c6%40sessionmgr101>. (31, marzo,2020).
- Zeller, B.L. and Saleeb, F.Z.** 1996. Production of Microporous Sugars for Adsorption of Volatile Flavors, *J. Food Sci.*, 61(4):749-752, 756.