



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TIERRA BLANCA

Maestría En Ciencia De Los Alimentos Y
Biotecnología.

**Evaluación de dos métodos de obtención de
Maltodextrina a partir de plátano macho
(*Musa balbisiana*) de desecho.**

T E S I S

Que presenta

Ing. Gabriel Angel Medrano

Para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Dra. Paula Natalia Robledo Narvárez

Director de Tesis

Junio, 2015

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS	6
II. ANTECEDENTES.	9
2.1 El plátano	9
2.1.1 Usos del plátano macho.....	9
2.1.2 La composición química del plátano macho.....	9
2.1.2 Panorama nacional.	10
2.1.2.1 Desecho en la industria del Plátano	11
2.1.3 Panorama del mercado mundial.	12
2.2 El almidón.....	12
2.2.1 Formación de granulo.	12
2.2.2 Composición química.	13
2.2.3 Estructura química del almidón	14
2.2.4 Propiedades.	15
2.2.4.1 Gelatinización	15
2.2.4.2 Retrogradación.	15
2.2.4.3 Birrefringencia.....	15
2.2.5 Fuentes de almidón.....	16
2.2.6 Usos del almidón.....	16
2.3 Maltodextrina.....	17
2.3.1 Aplicaciones.	17
2.3.2 Métodos de obtención.	18
2.4 Tecnologías Emergentes.....	18
2.4.1 Explosión por vapor.....	18
2.4.2 Ultrasonido	20

III. JUSTIFICACIÓN	25
IV. HIPOTESIS.....	26
V. OBJETIVOS.....	26
5.1 Objetivo General.	26
5.2 Objetivo Específico.	26
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
6.1 Diagrama experimental	27
6.1 Materia prima.	28
6.1 Recolección de plátano macho.	28
6.1.1 Caracterización del grado de madurez.	28
6.2 Métodos de obtención de maltodextrina.....	29
6.2.1 Tratamiento explosión por vapor.	29
6.2.2 Tratamiento con ultrasonido.	29
6.7 Obtención y caracterización	30
6.7.1 Caracterización química Maltodextrina.....	31
6.7.2 Propiedades funcionales de las Maltodextrina	31
XII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
7.1. Propiedades químicas.....	32
7.1.1 Grado de madurez de la materia prima	32
7.2 Composición química del almidón.....	32
7.2 Métodos de obtención de maltodextrinas.....	33
7.2.1 Producción de Maltodextrina empleando ultrasonido de baño.	33
7.2.2 Tratamiento explosión por vapor	34
7.3 Solubilidad (S), Factor de hinchamiento (FH) y Capacidad de retención de agua (CRA).	35

XIII. CONCLUSIÓN	38
VII. Bibliografía	39
Anexo 2.	44
Anexo 3.	45
Anexo 4.	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características fisicoquímicas de la pulpa de plátano macho (<i>Musa balbisiana</i>)	10
Tabla 2. Caracterización química proximal en frutos, harina y almidón de plátano verde.	13
Tabla 3. Técnicas utilizadas para el análisis fisicoquímico de la pulpa	28
Tabla 4. Composición química del almidón de plátano macho verde (<i>Musa balbisiana</i>)	33
Tabla 5. Equivalente de dextrosa utilizando ultrasonido a $70 \pm 2^\circ\text{C}$	33
Tabla 6. Equivalente de dextrosa	33
Tabla 8. Solubilidad de almidón de plátano macho y maltodextrina	35
Tabla 9. Capacidad de retención de agua y Poder de hinchamiento en almidón de plátano macho y maltodextrina.....	36
Tabla 11. Diseño experimental del Ultrasonido a 25 y 70 °C; Error! Marcador no definido.	
Tabla 12. Diseño experimental de Explosión por Vapor; Error! Marcador no definido.	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Propagación del pulso de ultrasonido y cavitación.....	22
Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología experimental.	27
Figura 3. Producción de maltodextrina mediante explosión por vapor.	34

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de plátano macho (*Musa balbisiana*) es originario del sureste de Asia, el fruto presenta un contenido del 70-80% de almidón en base seca y menor contenido de azúcares, pertenece a una de las especies de mayor importancia económica, sin embargo, la producción de plátano no ha presentado variación importante en los últimos diez años.

Por otro lado, los fenómenos meteorológicos como huracanes, lluvias intensas e inundaciones han afectado el rendimiento de las plantaciones en algunos años; en el 2007 y 2010 los huracanes “Dean” y “Karl” afectaron la producción en Veracruz y Tabasco (SIAP-SAGARA, 2014). Además, se presenta la pérdida del plátano macho durante el manejo post-cosecha, generando el llamado “plátano de desecho.

La maltodextrina es un producto intermediario de la hidrólisis del almidón, integrado por polisacáridos nutritivos, no dulces, constituido por una mezcla de carbohidratos con diferente grado de polimerización, donde las moléculas D-glucosa se encuentran unidas principalmente por enlaces glucosídicos α (1-4) y en conjunto presenta un contenido de azúcares reductores directos (ARD) expresados en términos de equivalentes de dextrosa (ED<20). Tiene una gran variedad de aplicaciones principalmente en la industria alimentaria y farmacéutica donde funcionan como: agentes estabilizantes, espesantes, extensores, reemplazadores de grasa, etc.

La Maltodextrina es obtenida principalmente del almidón del maíz, la hidrólisis de estos polímeros puede realizarse por diferentes métodos como los métodos químicos, mediante el uso de ácido clorhídrico o ácido sulfúrico, por métodos enzimáticos mediante el uso de enzimas amilolíticas o bien procesos en serie, mediante la combinación de ambos métodos (Lai *et al.*, 2015).

Existen tecnologías que han permitido modificar estructuras químicas complejas (celulosa, hemicelulosa, lignina, almidón) a estructuras químicas simples (glucosa,

xilosa, entre otros azúcares); entre esas tecnologías se encuentra la explosión de vapor y el ultrasonido (Jeoh, 1998; Izidoro *et al.*, 2011).

La explosión por vapor, fue desarrollada en 1925 por W.H. Mason para la producción de madera prensada (Mason, 1926). Desde entonces, el uso del proceso se ha ampliado para incluir aplicaciones como la producción de piensos para rumiantes, fabricación de pasta de madera dura, pretratamiento de biomasa para producción de etanol entre otros (Jeoh, 1998; Wenjie y Hongzhang, 2014).

El ultrasonido se ha utilizado principalmente en la investigación y el diagnóstico, recientemente esta tecnología ha tenido aplicación en procesos dirigidos a la industria alimentaria (Patist y Bates, 2008), principalmente como método de pretratamiento, tanto para la obtención de compuestos de interés alimenticio como farmacéutico, entre otras (Izidoro *et al.*, 2011).

En este trabajo se pretende evaluar ambos métodos para la obtención de Maltodextrina empleando plátano macho de desecho.

II. ANTECEDENTES.

2.1 El plátano.

El plátano es un término general que involucra un número de especies o híbridos de género *Musa* de la familia *Musaceae*. La gran mayoría de los cultivos de plátano comestibles surgieron a partir de dos especies diploides *Musa acuminata* y *Musa balbisina*, las cuales son originarias del sureste de Asia (Robinson, 1996). Entre las especies de mayor importancia son: El plátano macho quien pertenece a la especie *Musa paradisiaca* mientras que el plátano roatán es comprendido de la especie *Musa sapientum*, Las principales diferencias de estas especies radica en el tamaño y la composición química al momento de alcanzar la etapa de maduración, las enzimas del plátano roatán hidrolizan las cadenas de almidón para llevar a cabo la formación de glucosa, como resultado una mayor sensación de dulzor comparado con el plátano macho. Este último se presenta en longitudes de 30 - 45 cm el cual tiene altos contenido de almidón y menor contenido de azúcares (Zamudio-Flores, 2005)

2.1.1 Usos del plátano macho.

El plátano generalmente se consume maduro o inmaduro previa cocción. Es utilizado en un amplio número de productos alimenticios incluyendo bebidas, panaderías y diversos alimentos diarios de la dieta, como una fuente de carbohidratos y vitamina c, además rico en vitamina B6, fibra dietética y sales minerales como el potasio, hierro, fósforo y calcio. Otro aspecto importante está libre de grasas y tiene una buena digestibilidad. El plátano es utilizado en dietas d personas afectadas trastornos intestinales y en la de los niños de corta edad, ya que favorece la secreción de jugos gástrico (Salunkhe y Deseai, 2000; Cachago *et al.*, 2004).

2.1.2 La composición química del plátano macho.

Diversos autores han determinado la composición química del plátano inmaduro (Tabla 1). La harina de plátano macho presenta polisacáridos no amiláceos, como la pectina y algunas gomas incluidos en el contenido de fibra dietaría (14.5%) (García *et al.*, 2006): además de minerales como el fosforo, calcio, magnesio (Gilberto *et al.*, 2010).

Tabla 1.Características fisicoquímicas de la pulpa de plátano macho (*Musa balbisiana*)

Parámetros	Valores		1 ^{ra} etapa de maduración	2 ^{da} etapa de maduración
pH	5,3 ± 0,1	5,52 ± 0,01	5,3 ± 0,1	4,8 ± 0,1
sólidos solubles (° Brix)	3,5 ± 0,8	5,55 ± 0,44	5 ± 2	7 ± 1
acidez titulable (g / 100 g)	0.37 ± 0.09	0,165 ± 0,01	-	-
solidos totales (g/100 g)	33,3 ± 1,1		26 ± 6	14 ± 2
Firmeza (N)	25,8 ± 2,4	31,35 ± 1,61		
Humedad		73,13 ± 0,15		
Referencias	Tribess <i>et al.</i> , 2009	Izidoro <i>et al.</i> , 2011	Ditchfield, 2004	

2.1.2 Panorama nacional.

Es el cuarto cultivo más importante del mundo, después de algunos productos alimenticios como es el arroz, trigo y maíz. Además de ser considerado como producto de importación el plátano constituye una fuente de empleo e ingresos de numerosos países en desarrollo (Zhang y Hamaker, 2012)

El plátano es una de la fruta más consumida en México y en el mundo. En el 2013, la superficie sembrada la cual se dedica a este cultivo, alcanzó una superficie sembrada de 75 mil hectáreas. Con una producción de 2.1 millones de toneladas. Así el rendimiento promedio fue de 29.3 ton/ha.

La producción no ha presentado una variación importante en los últimos diez años. Sin embargo, es de notar que los fenómenos meteorológicos como los huracanes, lluvias intensas e inundaciones han afectado el rendimiento y siniestrado las plantaciones en algunos años. Como en el 2007 y 2010, en que los huracanes “Dean” y “Karl” afectaron la producción en Veracruz y Tabasco.

Alrededor de Quince entidades federativas producen plátano, sin embargo, seis de ellas, generan el 90% del volumen nacional, siendo en orden de importancia: Chiapas, Tabasco, Veracruz, Colima, Michoacán y Jalisco. Entre las variedades existentes en el

país destacan el Enano Gigante (63% del volumen total) y Macho (16%). Otras variedades cultivadas son el Tabasco, Criollo, Dominicó, Valery, Pera, Manzano y Morado (SIAP-SAGARA, 2014)

2.1.2.1 Desecho en la industria del Plátano

Según cifras estimadas el porcentaje de pérdida de las regiones plataneras está íntimamente ligado con los fenómenos meteorológicos debido a que la platanera es susceptible en épocas de huracanes y tormentas tropicales, en conjunto con las afectaciones por plagas entre el 20-50 % de pérdidas. El problema fitosanitario más importante que enfrenta este cultivo es la enfermedad conocida como sigatoka negra (SN), la cual está presente en la mayoría de los países productores. En México, la sigatoka negra se identificó por primera vez en 1980 en los estados de Chiapas y Tabasco, dispersándose posteriormente a los estados de Veracruz y Oaxaca (1985), Colima (1989), Michoacán, Jalisco y Guerrero (1990). En poco más de diez años, esta enfermedad estaba ya en toda la zona bananera del país siendo una enfermedad muy agresiva. Su incidencia y severidad pueden llegar a causar enormes pérdidas económicas, entre el 50 y 80% de la producción, y en casos extremos, la totalidad. (Investigadores ESNI-I, UADY, UNAM, 2012)

En Veracruz en el año 2012 al paso del huracán Ernesto se registraron pérdidas cuantiosas de plátano debido a las inundaciones y apariciones de plagas de hasta 100% en algunos municipios del estado; en 2013 se tuvo una pérdida del 80% de la producción total de plátano debido al paso de la tormenta tropical Barry (SAGARPA, 2012-2013). Debido a que no se tiene control de los fenómenos climáticos, el porcentaje de pérdidas es variable año con año.

Por ello el uso de desechos agroindustriales, los cuales quedan rezagados y contaminan, son una alternativa viable para generar subproductos que hoy son un mercado emergente y urgente para solucionar, por un lado el problema de escases de alimentos y por otro, representan alternativas al uso de los desechos agroindustriales para producción de fertilizantes, biodiesel y otros bioproductos tales como almidón o productos modificados del almidón como la maltodextrina. Para la producción de

maltodextrina se emplean la hidrólisis enzimática o ácida, con estos métodos se busca romper las cadenas de azúcares presentes en este tipo de alimentos actualmente el uso de tecnologías emergentes podrían generar los mismos resultados siendo tecnologías limpias.

2.1.3 Panorama del mercado mundial.

La exportación del plátano se ha incrementado casi ocho veces en los últimos diez años, pasando de casi 41 mil toneladas en 2003 con un valor de 14 mdd a 362 mil toneladas en 2013 con un valor de 163 mdd, representando en el último año indicado un 17% del volumen de producción total. Por su parte, las importaciones aunque han aumentado de manera importante, no rebasan las 200 toneladas anuales (SIAP-SAGARA, 2014).

La producción mundial de plátano en el año 2011 fue estimada en 102, 028, 171 toneladas. Latinoamérica y las islas del Caribe cubren el 80% de las exportaciones del fruto a nivel mundial (FAO/WHO, 2011).

2.2 El almidón.

El almidón es un polisacárido que se encuentra en forma granular en una gran diversidad de semillas, raíces, tubérculos, frutos y tallos de las plantas, el cual constituyen su principal fuente energética de las plantas superiores. Es un biopolímero que ha constituido una parte importante de la dieta del hombre. Es el polisacárido más abundante después de la celulosa. El tamaño de granulo varia de 2 a 100 μm y su forma puede ser redondeada, ovalada, poligonal lenticular e irregular. El tamaño y forma del granulo son característicos de cada fuente botánica y resultan de gran utilidad para su identificación en microscopio (Biliaderes, 1991).

2.2.1 Formación de granulo.

Durante la formación del granulo, la planta de manera natural deposita el almidón en capas concéntricas sucesivas y superpuestas alrededor del núcleo central denominado Hilium, formado así un granulo compacto. Cuando están al alcance moléculas adyacentes de amilasa y algunas ramificaciones de amilopectina se asocian a través

de puentes de hidrogeno en forma de paralela, formando paquetes cristalinos orientados radialmente llamados micelas (Tester *et al.*, 2001). Esta micela mantiene unido al granulo, permitiendo su hinchamiento en agua caliente y la solubilización de moléculas individuales de almidón, sin rompimiento del granulo. Estas áreas micelares altamente cristalinas y orientadas explican la capacidad de los gránulos sin gelatinizar para rotar el plano de la luz polarizada, produciendo una cruz característica de la interferencia, llamada cruz de malta.

2.2.2 Composición química.

La composición química de los almidones comerciales depende de la fuente y el proceso de obtención y purificación y de las condiciones de almacenamiento (Beynum y Roels, 1985). Los gránulos del almidón contienen entre 6 y 16% de humedad y pequeñas cantidades de proteína, lípidos, fosforo y tazas de materiales inorgánicos. El máximo contenido de humedad sugerido para un almacenamiento seguro en los almidones es de 13% dado que un contenido mayor puede ocasionar un daño microbiano y por lo tanto un deterioro de la calidad del polímero.

Tabla 2. Caracterización química proximal en frutos, harina y almidón de plátano verde.

Componente	Fruto* (g/100g)	Harina** (g/100g)	Almidón*** (g/100g)
Humedad	70-74	71	4.8
Cenizas	1	4.7	0.4
Proteínas	1	3.3	1.6
Lípidos	0.3-0.5	2.7	2.3
Carbohidratos			
Totales	20-30	----	----
Almidón total	----	73.4	----
Fibra	3.5	14.5	----
Almidón disponible	----	56.3	----
Almidón resistente	----	17.5	1.5

---- No determinado

*Tobin y Muller, 1988; Chaves *et al.*, 1992

**Juarez-García *et al.*, 2006

***Aparicio-Saguilán *et al.*, 2005

2.2.3 Estructura química del almidón

El almidón es un homopolisacárido por moléculas de D-glucosa unidas unas a otras a través del oxígeno del C-1, unión que se conoce como enlace glucosídico y puede ser $\alpha(1-4)$ o $\alpha(1-6)$ depende si la unión es entre un enlace C-1 de una molécula de glucosa y el C-4 o el C-1 de la siguiente molécula de glucosa respectivamente. Es de importancia saber que el enlace glucosídico se establece en condiciones alcalinas pero pueden hidrolizarse en condiciones ácidas o por acción enzimática. El residuo de la glucosa se encuentra al final de la cadena polimérica presenta un grupo aldehído que actúa como un grupo reductor razón por la cual se reconoce como extremo reductor de la molécula (Beynum y Roels, 1985).

El almidón está compuesto por dos macromoléculas: amilosa y amilopectina. Amilosa 15-30% está compuesta por cadenas largas de en forma de hélice por unidades de glucosa unidas aproximadamente en 99% por enlaces. La amilosa es un polisacárido constituido por largas cadenas lineales dispuestas en forma helicoidal, en las que todas las moléculas de glucosa se encuentran unidas por enlaces $\alpha(1-4)$ y cada seis residuos de glucosa forma una vuelta entorno al eje de simetría de la molécula.

La amilopectina es un polisacárido formado por unidades de glucosa y presentan una estructura altamente ramificada, el grado de polimerización de estas ramas va de 10 a 16 residuos de glucosa y se encuentran localizadas a una distancia media de 10 a 15 unidades de glucosa. La unión entre los residuos de glucosa entre las proporciones lineales son enlaces glucosídicos $\alpha(1-4)$ mientras que los puntos de ramificación los residuos de glucosa se encuentran unidos por enlaces glucosídicos $\alpha(1-6)$, los cuales alcanzan una proporción superior al 5% de total de uniones en la molécula de amilopectina. La amilopectina constituye una de las mayores moléculas en la naturaleza, los grados de polimerización superiores a 2, 000, 000 unidades de glucosa y pesos moleculares de orden de los 200, 000, 000 de Daltones.

2.2.4 Propiedades.

Entre las propiedades que presentan en los almidones las principales son la gelatinización, la retrogradación, la birrefringencia y la difracción de rayos X.

2.2.4.1 Gelatinización.

La gelatinización del almidón es un proceso en el cual se pasa de un estado ordenado (estructura cristalina) a un estado desordenado donde se absorbe calor; es decir la gelatinización transforma a los gránulos insolubles en una solución de sus moléculas constituyentes (amilosa y amilopectina) en forma individual. Los gránulos del almidón son insolubles en agua fría; sin embargo al aplicar calor se hidratan e hinchan hasta formar pastas viscosas. Este hinchamiento de los gránulos de almidón es reversible hasta cierta temperatura conocida como temperatura de gelatinización, la cual se caracteriza de cada tipo de almidón y corresponde a la temperatura a la cual se alcanza el máximo de viscosidad y se pierde la birrefringencia (Biliaderes, 1991; Izidoro *et al.*, 2011).

Entre los factores determinantes del proceso de gelatinización destacan la relación y el contenido de amilosa y amilopectina, su grado de polimerización, así como el tamaño del granulo del almidón (Biliaderes, 1991).

2.2.4.2 Retrogradación.

La retrogradación es un proceso que implica insolubilización y precipitación espontanea de las moléculas de amilosa principalmente. Ello debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente e interaccionan entre sí a través de sus múltiples grupos hidroxilos. Cada almidón tiene una tenencia a retrogradación, la cual está relacionada con su contenido de amilosa, ya que la amilopectina es más difícil que la desarrolle, debido a que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrogeno con moléculas adyacentes (Beynum y Roels, 1985).

2.2.4.3 Birrefringencia

Es la capacidad que tienen los gránulos de almidón para refractar la luz en dos direcciones, es decir tiene dos índices de refracción por lo que cuando se irradian con

luz polarizada desarrollan la típica “Cruz de malta” (Jiménez *et al.*, 2007). Esta característica se debe a que dentro del granulo se localizan zonas cristalinas de moléculas de amilopectina y amilosa ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrogeno, así como zonas amorfas formadas principalmente por amilosa, las cuales no tienen posibilidades de asociarse entre sí o con las moléculas de amilopectina (Beynum y Roels, 1985; Biliaderes, 1991).

2.2.5 Fuentes de almidón

El almidón es uno de los componentes importantes de un gran número de productos agrícolas como los cereales (maíz, trigo, arroz, cebada) en los cuales el contenido de almidón es de 30 -90%, leguminosas (frijoles, chicharos, habas) con 25-50%, tubérculos (papa, yaca) con 60-90% y algunos frutos en estado fisiológico inmaduro (mango, plátano) los cuales pueden obtener hasta 70% en base seca (Bello-Pérez *et al.*, 1999; Thomas y Atwell, 1999).

2.2.6 Usos del almidón

El almidón nativo se obtiene por procesos conocidos como de molienda húmeda o de molienda seca, sus aplicaciones en el área de alimentos se encuentran muy restringidas debido a la baja estabilidad de sus suspensiones y geles, dichas aplicaciones están centradas en explotar sus relativamente bajas propiedades funcionales como agente gelificante y espesante. Es por ello que, para incrementar las propiedades funcionales del almidón, se ha recurrido a la realización de algunos cambios físicos, químicos o enzimáticos en su molécula, ampliando de esta forma la gama de productos con características específicas encaminadas a cubrir una gran variedad de aplicaciones en diversos campos de las industrias alimentaria y farmacéutica (Rocha *et al.*, 2005).

Una manera fácil y rápida para obtener carbohidratos con propiedades funcionales específicas es a través de la hidrólisis del almidón. El equivalente de dextrosa (ED) es una medida del grado de hidrólisis de la molécula de almidón, y se define como el contenido de azúcar reductores directos (ARD), expresado en por ciento de glucosa en

una base seca. Dependiendo del grado de hidrólisis de la molécula de almidón se puede obtener toda una gama de productos que, de acuerdo con su contenido de ED, se clasifican en maltodextrinas y jarabes; las maltodextrinas presentan un $ED < 20$, y los jarabes tienen un $ED \geq 20$ (McPherson y Seib, 1997).

2.3 Maltodextrina.

La Food and Drug Administration (FDA) define a la maltodextrina como aquellos productos derivados de la hidrólisis del almidón, integrado por polisacáridos nutritivos, no dulces constituido por una mezcla de carbohidratos con diferente grado de polimerización, donde las moléculas D-glucosa se encuentran unidas principalmente por enlaces glucosídicos α (1-4) y en conjunto presenta un contenido de azúcares reductores directos (ARD) expresados estos en términos de equivalentes de dextrosa $ED < 20$; se presenta en forma de polvo blanco ó soluciones líquidas concentradas y son clasificadas como ingredientes GRASS (General and Recognized as safe; GPC, 1996).

Tradicionalmente se han utilizado el almidón de maíz para la producción de maltodextrinas mediante un proceso de licuefacción. Las variaciones de los valores de ED influyen en las propiedades fisicoquímicas de las maltodextrinas. La higroscopicidad, solubilidad y su efectividad para reducir el punto de congelación, se incrementa con respecto al valor de ED, mientras que la viscosidad y la cohesividad, se incrementa cuando el valor de ED disminuye.

2.3.1 Aplicaciones.

Las maltodextrinas tienen una gran variedad de aplicaciones, principalmente en la industria alimentaria y farmacéutica donde funcionan como: agentes estabilizantes, espesantes, extensores, reemplazadores de grasas y aceites en aderezos para ensaladas, margarinas y postres congelados, agentes encapsulantes o vehículos para procesos de secado por asperión de pigmentos naturales, aceites esenciales, sabores, etc. Ayudan a controlar la textura, la higroscopicidad y la densidad en algunos alimentos (Shamek *et al.*, 2002).

En los últimos años se han empleado soluciones de maltodextrina como alimentos para personas que presentan falla renal crónica, cirrosis hepática, trastorno en el metabolismo de aminoácidos y en aquellas condiciones dietéticas especiales que requieren de alimento de alto aporte energético, pero de poco volumen de fluido y bajo contenido de electrolitos (DEIA, 2010).

2.3.2 Métodos de obtención.

La maltodextrina en la industria son obtenidas principalmente del almidón proveniente del almidón del maíz, la hidrólisis de estos polímeros pueden realizarse por una serie de métodos como lo son los métodos químicos mediante el uso de ácidos como el clorhídrico o el sulfúrico, o puede ser por métodos enzimáticos mediante la incorporación o uso de enzimas amilolíticas, o bien mediante la combinación de ambos métodos (Lumdubwong y Seib, 2001). La hidrólisis ácida es un proceso en el cual la molécula del almidón es cortada al azar, lo cual produce una mezcla no controlada de moléculas con diferentes pesos moleculares. La hidrólisis enzimática es un proceso mediante enzimas catalizadoras debido a su eficiencia y su acción específica y su alta purificación y estandarización. En los últimos años se ha realizado hidrólisis enzimática para la obtención de maltodextrinas y jarabes a nivel industrial, ya que se produce jarabe de mayor calidad, pues se tiene el control de la reacción, una mayor especificidad de los productos obtenidos, menores requerimientos energéticos y la ausencia de sabores indeseables lo cual ha desplazado la hidrólisis ácida que era utilizada anteriormente. Sin embargo, las condiciones de operación están limitadas por las propiedades de cada una de ellas, esto es, cada enzima actúa en condiciones de pH y temperaturas específicas, lo cual constituye un problema para la industria al incrementar los costos o la disminuir la eficiencia y calidad del producto.

2.4 Tecnologías Emergentes.

2.4.1 Explosión por vapor.

Normalmente, explosión de vapor se clasifica como un proceso de pretratamiento físico-química, simultáneamente la introducción de la variación de la biomasa

lignocelulósica en la morfología y la sustancia química. Acompañado por el cizallamiento mecánico y desfibrilación de fibras, ácido acético es liberado de materiales lignocelulósicos y hidroliza parcialmente los componentes de la pared celular, que se conoce como un proceso de autohidrólisis. El término "autohidrólisis" se ha utilizado como sinónimo por explosión de vapor, que describe el proceso de reacción química durante esta tecnología pretratamiento. Además, Chornet y Overend contaron que el desglose de estructural componentes también se vio favorecido por la degradación térmica en forma de vapor de agua.

Durante el pretratamiento, vapor saturado a alta presión penetra en la recalcitrante pared de la célula por difusión, y la separación mecánica de las fibras se consigue por la repentina evaporación de la humedad condensada de la liberación de la presión. Correspondientemente, una fuerza de cizallamiento se genera y se actúa sobre la estructura circundante, lo que resulta en la ruptura mecánica de biomasa lignocelulósica. Por otro lado, el origen del término "autohidrólisis" o la fuerza destructiva en la pared celular depende fundamentalmente de la degradación química en este proceso. Grupos acetilo y uronyl están unidos integralmente a la columna vertebral de semicelulósico componentes. A medida que el vapor condensado que penetra en la biomasa, debranch reacciones proceder y liberar acético y ácidos urónicos, que hidrolizan catalíticamente hemicelulosas en oligosacáridos y monosacáridos. Bajo condiciones severas, amorfo celulosa podría ser parcialmente despolimerizado. Además, los productos de degradación más (furfural a partir de xilosa y 5-hidroximetil furfural a partir de glucosa) se podría generar indeseablemente, que inhiben el crecimiento.

Los dos principales factores de operación durante la explosión por vapor son tiempo de retención y temperatura, son el énfasis de la investigación más básicos a continuación se muestran referencias donde la explosión por vapor ha sido un paso fundamental en la obtención de productos o compuestos:

Zhang *et al.*, (2012) a partir de rastrojo de maíz operando un equipo de explosión por vapor bajo condiciones de presión (11.84-10.85 atm) lograron como resultado un fraccionamiento de la celulosa lignina y hemicelulosa.

Noda *et al.*, (2013). Aplicando explosión por vapor como método de extracción de antioxidantes a partir de ajo crudo hidrolizo por altas temperaturas (183-258 °C) y vapor a presión (de 10-45 atm) y por último explotado por la rápida descompresión. La actividad antioxidante de ajo crudo tratado por explosión de vapor fue mayor que la de ajo negro, es decir, el envejecimiento de ajo. La más alta actividad antioxidante, de extracto de ajo crudo se obtuvo a una presión de vapor de 45 atm para un tiempo de retención de 5 min, pero la mayor cantidad de compuestos fenólicos, es decir, 93,7 mg de catequina equiv. / g ps. de ajo crudo, se obtuvo a una presión de 30 atm por un tiempo retención de 5 min.

Guozhong y Hongzhang, 2011 estudiaron el efecto de la explosión por vapor para la extracción y conversión de flavonoides de las frutas de zumaque. La Explosión por vapor causó reducción en el tamaño de partícula y condujo a la reducción de grandes fisuras y microporos en la capa de la fruta. Como resultado del estudio de la cinética del rendimiento de flavonoides en frutas de zumaque a condiciones 200 °C durante 5 min alcanzo el máximo de 19.65 mg/g peso seco en 20 min, que era aproximadamente 8 veces mayor que la de la materia prima. Además, quercetrina (quercetrina 3-O-rhamnósido), el flavonoide dominante de la fruta de zumaque, se desglicosila y se convierte en la queratina por explosión por vapor. La relación de conversión fue de 85.51% bajo la condición de explosión por vapor de 200 °C durante 5 min. En conclusión mencionan que el uso de la explosión por vapor es un proceso prometedor para su aplicación en la extracción y la conversión en la industria de los alimentos.

2.4.2 Ultrasonido

El ultrasonido principalmente es utilizado rutinariamente como herramienta de diagnóstico clínico mediante equipos de baja intensidad. El uso de equipos de alta

intensidad se ha utilizado recientemente como métodos de pretratamiento en diversos campos de la industria de los alimentos y con fines de experimentación.

2.4.2.1 Concepto

Es un término utilizado para describir a los sonidos que se encuentran por encima del límite superior del espectro auditivo del oído humano. Este límite se encuentra aproximadamente a los 20 000 Hertz (Hz).

2.4.2.1.1 Longitud de onda (λ): Es la distancia entre dos puntos de máxima compresión (o rarefacción). La incidencia de la longitud de onda en el ultrasonido diagnóstico, es debida a que la penetración de la onda de ultrasonido es proporcional a la longitud de onda, y a que la resolución de la imagen se degrada con el aumento de la longitud de onda. En la figura 1 se ilustra la longitud de onda

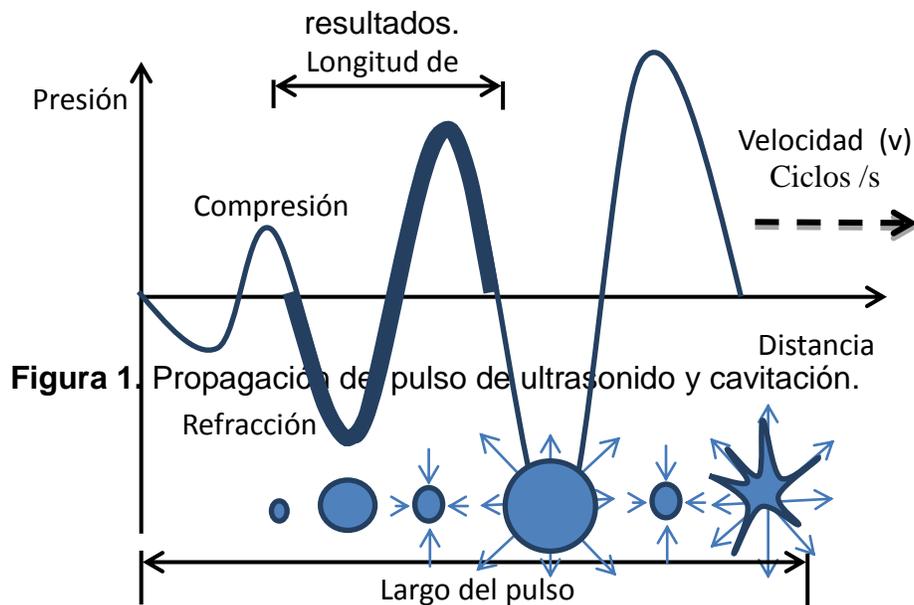
2.4.2.1.2 Frecuencia (f): Es el número de ciclos de compresión y rarefacción que se producen por unidad de tiempo. Se mide en ciclos por segundo y la unidad es Hertz (Hz). La frecuencia es una característica del cristal utilizado en el transductor de ultrasonido. En general es posible variar la frecuencia utilizada, aunque dentro de ciertos límites. A mayor frecuencia, mejor resolución de imagen pero menor profundidad de penetración.

2.4.2.2 Fundamento de ultrasonido (Cavitación).

El efecto del ultrasonido está asociado a los fenómenos complejos de cavitación gaseosa, que explican la generación y evolución de microburbujas en un medio líquido. La cavitación se produce en aquellas regiones de un líquido que se encuentran sometidas a presiones de alta amplitud, que alternan rápidamente durante la mitad negativa del ciclo de presión, el líquido se encuentra sometido a un esfuerzo tensional y durante la mitad positiva del ciclo experimenta una compresión. El resultado es la formación interrumpida de microburbujas cuyo tamaño aumenta miles de veces en la alternancia de los ciclos de presión. Las microburbujas que alcanzan un tamaño crítico se implosionan o colapsan violentamente para volver al tamaño original. La implosión

supone la liberación de toda la energía acumulada, ocasionando incrementos de temperatura instantáneos y focales, que se disipan sin que supongan una elevación sustancial de la temperatura del líquido tratado. Sin embargo, la energía liberada, así como el choque mecánico asociadas al fenómeno de implosión, afectan la estructura de las células situadas en el micro entorno. Se considera que dependiendo de la frecuencia empleada y la longitud de las ondas de sonido, se pueden generar diferentes cambios físicos, químicos y bioquímicos que pueden emplearse en un sin número de aplicaciones en los diferentes campos industriales (Herrero and Romero, 2006). Algunos efectos en consecuencia en diferentes componentes del tejido biológico.

1. A nivel bioquímico: Formación de radicales libres, como es la disociación del agua (H^+ y OH^-) por ruptura de enlaces químicos (Suhr D, 1991).
2. A nivel molecular: Despolimerización o fragmentación de moléculas de gran tamaño, como colágena, ADN, ARN (Monira M. Rageh, 2009).
3. A nivel celular: Provoca ruptura de la membrana celular (Azadniv et al. 1996) que conlleva la lisis o muerte celular y necrosis del tejido (Miller, 2002).



Por ejemplo, se han utilizados tratamientos ultrasónicos para hidrolizar el almidón contenido en el maíz para aumentar la susceptibilidad enzimática y para mejorar el procesamiento de masa fundida de almidón contenido en el maíz.

Izidoro *et al.*, (2011). Estudiaron el efecto sobre las propiedades físicas y químicas del almidón de plátano verde mediante la propagación de ondas ultrasónicas a condiciones de operación de 24 W y 20 kHz y técnicas de secado por pulverización. En donde los resultados mostraron alto contenido de almidón resistente, el cual fue reducido por el tratamiento con ultrasonido y también mediante el uso de secado por pulverización. Ambas técnicas aumentaron las características funcionales como solubilidad, poder de hinchamiento y absorción de agua. Los geles exhibieron un comportamiento reductor de la cizalla no newtoniano, ya que el índice de comportamiento de flujo fue de menos de un ($n < 1$). La propagación de la onda de ultrasonido reduce la tensión de fluencia y el coeficiente de consistencia en geles de almidón. Bajo cizalla oscilatoria, todos los geles exhibieron un comportamiento viscoelástico de tipo sólido, módulo de almacenamiento fue mayor que el módulo de pérdida a toda la gama de frecuencia ($G' > G''$), que fue confirmado por el experimento de la Cox-Merz que mostró que la viscosidad compleja dinámica fue mayor que la viscosidad aparente en todas las muestras. La temperatura de gelatinización fue influenciada principalmente por la técnica de secado y tratamiento con ultrasonidos reduce la cantidad de energía necesaria para gelatinizar el almidón.

Shewale y Pandit, (2009) Mediante la utilización de un ultrasonido de sonda a condiciones de operación 750 W y 20 kHz durante un minuto al 100 % de amplitud de onda, mediante licuefacción (utilizando *Bacillus licheniformis*-amilasa) y sacarificación (utilizando amiloglucosidasa) los procesos se optimizaron con el uso de la harina de sorgo normal, como material de partida para la producción de glucosa. El efecto del tratamiento de ultrasonido en la suspensión sorgo antes de la licuefacción se estudió en los procesos de licuefacción y sacarificación en condiciones optimizadas. Debido a tratamiento de ultrasonidos, licuefactos DE aumentó en un 10-25% dependiendo de tiempo de sonicación y la intensidad. Se encontró que el tratamiento de ultrasonido de

1 min a 100% de la amplitud para reducir el tamaño medio de las partículas de la suspensión de 302 micras a 115 micras, que se tradujo en un aumento del porcentaje de sacarificación en un 8%. La razón para el aumento en el porcentaje de sacarificación se atribuyó a la disponibilidad de almidón adicional para la hidrólisis debido a la interrupción-asistida por ultrasonido de los (gránulos de almidón circundantes) matriz de proteína y el complejo amilosa-lípido. Integración de tratamiento de ultrasonido en el estado del arte de la producción de glucosa a partir de sorgo-molido en seco y su posible uso posterior en la producción de bioetanol puede mejorar la economía general del proceso.

Sujka y Jamroz, (2013) utilizando almidón obtuvieron un aumento de grasas y absorción de agua y en el almidón se observó grietas y depresiones en la superficie de los gránulos de almidón.

Asada *et al.*, (2012) mediante la utilización de ultrasonido de sonda en condiciones 30 W y 20 kHz / 30 min. en una solución de microalgas lograron una eficiente extracción del almidón de un 94 % del total del almidón.

III. JUSTIFICACIÓN.

En los últimos años la preocupación ambiental ha llevado un aumento en el uso de desechos agroindustriales dándoles una oportunidad más de ser utilizados, de acuerdo a los antecedentes las pérdidas de plátano macho por cuestiones ambientales tales como huracanes, inundaciones, fuertes vientos principalmente en la zonas plataneras del estado de Veracruz, son de gran importancia ya que anualmente contribuyen a la perdidas en la producción, así mismo durante la cosecha y el manejo pos-cosecha existe una serie de procesos y selección como lo son la calidad del plátano y el estado de maduración el cual serán cosechados, dichos procesos están relacionados y es aquí donde por cuestiones de calidad del plátano ya sea por fractura durante la cosecha, ralladuras en la cascara, golpes, malformación es desechado el plátano macho en un estado de madures uno , este momento es característico o primordial para la cosecha ya que es aquí donde se inicia el corte, durante su manejo y trazabilidad ira madurando ya que es plátano es un fruto climatérico. En el estado de madures uno en el plátano es característico en cuanto a la concentración de almidones llegando a alcanzar hasta un 80 % en base seca. Es por ello que mediante el uso de tecnologías emergentes se pretende la hidrólisis de esos almidones para la obtención de Maltodextrina utilizando equipos como el ultrasonido y el de explosión por vapor.

IV. HIPOTESIS.

1. La explosión por vapor será un método eficaz para la obtención de Maltodextrina empleando pulpa de plátano macho de desecho.
2. El uso de ultrasonido de baño será eficiente en la producción de maltodextrina empleando pulpa de plátano macho de desecho.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General.

Evaluar dos métodos para la obtención de Maltodextrina empleando plátano macho de desecho.

5.2 Objetivo Específico.

1. Producir Maltodextrina empleando explosión por vapor.
2. Producir Maltodextrina a partir del proceso de ultrasonido de baño.
3. Evaluar y comparar la eficiencia de ambos métodos de obtención de maltodextrina.
4. Caracterización físico-química y funcional de la maltodextrina.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS.

6.1 Diagrama experimental

La figura 2. Muestra el diagrama de la estrategia experimental para la obtención de maltodextrina por diferentes métodos.

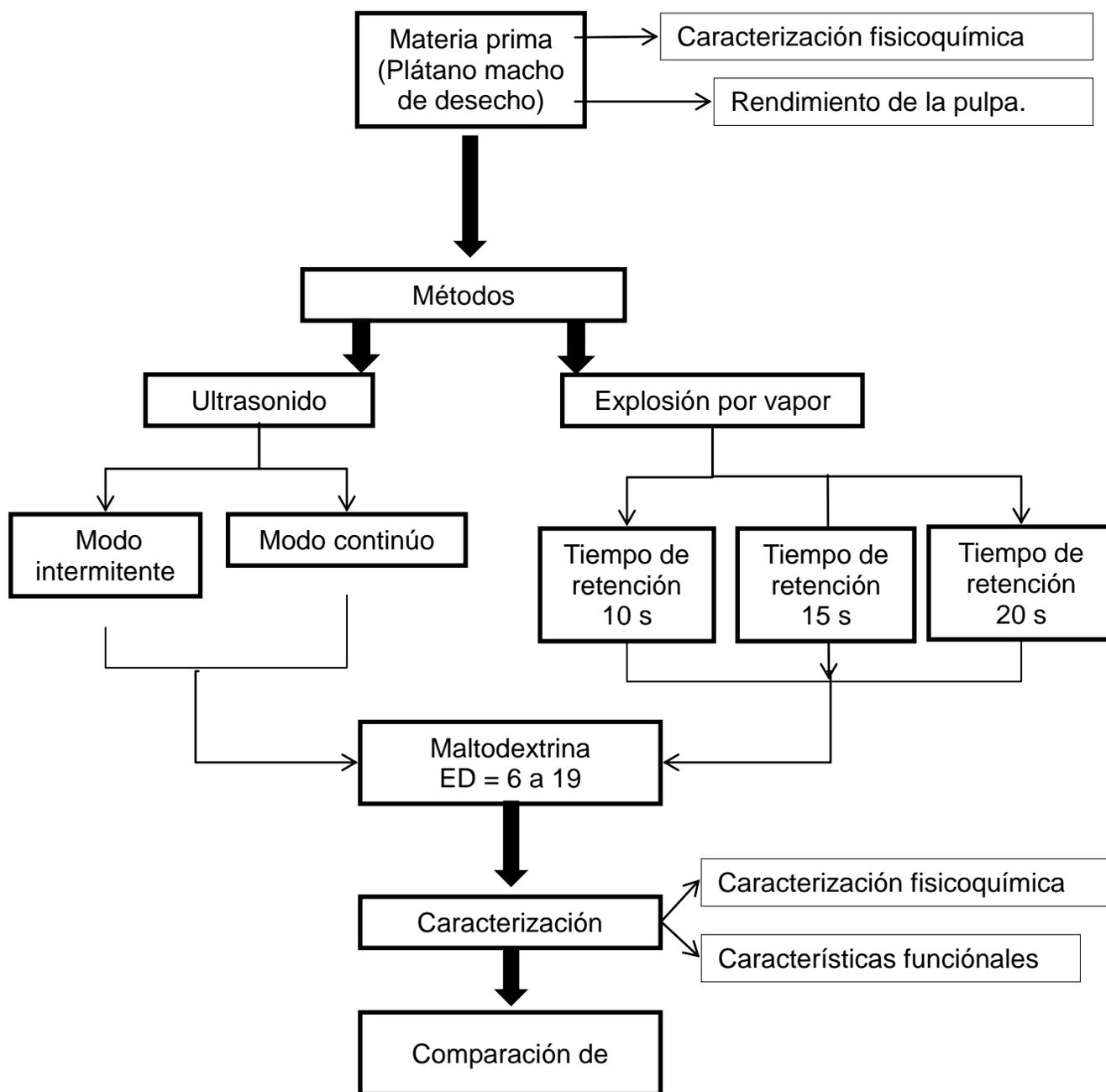


Figura 2. Diagrama de la estrategia experimental.

6.1 Materia prima.

6.1 Recolección de plátano macho.

Se recolecto plátano macho de desecho perteneciente a la zona del Papaloapan, Veracruz. Únicamente se utilizaron plátanos obtenidos durante el manejo pos-cosecha, solo los que se encontraban en estado de fisiológico inmaduro o bien de color verde, porque en esta etapa se encuentra un mayor contenido de almidón.

6.1.2 Obtención de materia prima.

La pulpa de plátano macho (*Musa balbisiana*) fue obtenida a partir de plátano de desecho, para ello plátanos fueron lavados y despulpados. Se determinó el peso de la pulpa y se cortaron en rodajas de 1 centímetro de espesor con una cuchilla HALLDE 3/8 10, del equipo HOBART. Por último se homogenizo la muestra, se colocó en bolsas Ziploc doble cierre y se almacenaron a 2 °C, para su uso posterior.

6.1.1 Caracterización del grado de madurez.

Se tomaron muestras del lote de pulpa de plátano macho. A continuación en la tabla 3 se muestran los parámetros que se determinaran para la caracterización de la pulpa de plátano macho.

Tabla 3. Técnicas utilizadas para el análisis fisicoquímico de la pulpa

Parámetros	Método
Humedad	Pérdida de peso (NMX-F-083-1986)
Cenizas	Calcinación (NMX-F-066-S-1978)
Proteínas	Kjeldahl (920.87, AOAC, 1997)
Acidez titulable	NMX-F-102-S-1978
Solidos solubles	° Brix (Refractómetro)
pH	Potencial de hidrogeno (Conductronic pH 120)

6.2 Métodos de obtención de maltodextrina.

6.2.1 Tratamiento explosión por vapor.

Se utilizó un equipo de explosión por vapor conectado a un generador de vapor (Fultón) que fue operado a 9.5 bar de presión. Se colocaron tres réplicas de 2.5 kg de pulpa en rodajas de 1 cm de espesor y fueron sometidas a la explosión a diferentes tiempos 10, 15 y 20 segundos

Tabla 4. Diseño experimental explosión por vapor.

	Tiempo de retención (s)
Explosión por vapor	10
	15
	20



Figura 3. Equipo de explosión por vapor.

6.2.2 Tratamiento con ultrasonido.

Para el tratamiento con ondas ultrasónicas se utilizó un equipo de ultrasonido de baño (Cole Parmer) a una potencia 130 W con una amplitud de frecuencia de 47 kHz. Para lo cual se realizó un diseño factorial con dos factores (ultrasonido y temperatura) a dos niveles (continuo e intermitente) y (25° y 70°C) como se ilustra en la tabla 5. Para la aplicación del tratamiento se utilizaron vasos de capacidad 200 mL, los cuales

contenían 60 g de pulpa fresca en rodajas de 1 cm de espesor y 100 mL de agua destilada. Los tiempos de retención de ultrasonido fueron de 60 min con pulsaciones en el rango de 1 min, 60 min de ultrasonido continuo y 30 min continuo.

Después de la aplicación del tratamiento, las soluciones se trituraron y fueron secadas hasta peso constante para sus análisis pertinentes.

Tabla 5. Diseño experimental ultrasonido.

Factor	Niveles
Ultrasonido	Continuo (SC)
	Intermitente (SI)
Temperatura ° C	25
	70



Figura 4. Ultrasonido tipo baño.

6.7 Obtención y caracterización de Maltodextrina.

La variación de equivalentes de dextrosa (ED) con respecto al tiempo de la hidrolisis del almidón de plátano macho de desecho. Por la acción del tecnologías emergentes tales como: explosión por vapor y la aplicación de ultrasonido. Se pretende observar la formación de azúcares reductores directos (ARD), expresados estos como equivalentes de dextrosa (ED) los cuales serán calculados mediante la fórmula (anexo) expresado en gramos de azúcares reductores / gramos de pulpa seca.

6.7.1 Caracterización química Maltodextrina

La caracterización química de algunas Maltodextrinas obtenidas se llevar a cabo de la siguiente forma. Su contenido de humedad se determinara de acuerdo de pérdida de peso en termobalanza (AOAC, 1995), El contenido de azúcares reductores (AR) se determinara con el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico (Miller, 1959). (anexo 4)

6.7.2 Propiedades funcionales de las Maltodextrina

En la evaluación de las propiedades funcionales de las diferentes maltodextrinas obtenidas a partir de la pulpa de plátano macho (*Musa paradisiaca L.*) se incluyó la capacidad de retención de agua (CRA), la solubilidad (S), el factor de hinchamiento (FH), Cada determinación será realizada por triplicado y empleando la misma metodología empleada en la caracterización de funcional del plátano inmaduro (anexo 3).

XII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Propiedades químicas

7.1.1 Grado de madurez de la materia prima

El plátano macho (*Musa balbisiana*) de desecho fue colectado en la zona del Papaloapan, Veracruz. Esta variedad fue escogida por su alto contenido de almidón en estado inmaduro, por lo que se determinó los siguientes parámetros fisicoquímicos: humedad (%) 40.83 ± 0.16 ; sólidos totales (%) 59.17 ± 0.16 ; cenizas (%) 1.56 ± 0.57 ; pH 5.93 ± 0.19 ; sólidos solubles (° Brix) 3.00 ± 0.09 . Los resultados indican que la pulpa de plátano se encuentra dentro de la 1ra etapa de maduración como lo reporta Ditchfield, 2004; Tribess *et al.*, 2009; Izidoro *et al.*, 2011.

Tabla 6. Propiedades químicas de la pulpa de plátano macho.

Variedad	Humedad	° Brix	Acidez titulable	pH	Referencia
Plátano Verde	66.7 ± 1.10	5.00 ± 2.00	0.24 ± 0.03	5.30 ± 0.10	Ditchfield, 2004
<i>M. Cavendish</i>	73.0 ± 0.15	5.55 ± 0.44	0.16 ± 0.01	5.52 ± 0.01	Izidoro <i>et al.</i> , 2007
<i>M. Cavendish</i>	----	3.50 ± 0.800	0.37 ± 0.09	5.30 ± 0.10	Tribess <i>et al.</i> , 2008

7.2 Composición química del almidón.

El almidón obtenido por vía seca además de contener amilosa y amilopectina Cobana y Artezana, 2007, los gránulos de almidón contienen pequeñas cantidades de humedad, sólidos totales y cenizas como se muestra en la tabla 1.

Tabla 7. Composición química del almidón de plátano macho verde (*Musa balbisiana*)

Parámetros (%)	Resultados
Humedad %	11.36 ± 0.55
Sólidos totales	88.64 ± 0.31
Cenizas	01.34 ± 0.02

* Nota los % están determinados por cada 100 g de almidón.

Se obtuvo un rendimiento de almidón de 43.57 %, similar a lo reportado por Bello-Pérez *et al.*, 2004 de 44% base seca

7.2 Métodos de obtención de maltodextrinas

7.2.1 Producción de Maltodextrina empleando ultrasonido de baño.

Los Valores de equivalente de dextrosa fueron calculados por medio del contenido de azúcares reductores expresados en ED. En las tablas 4 y 5 donde se observa el efecto de aplicación de ondas ultrasónicas. Los resultados muestran que las moléculas de almidón no fueron hidrolizadas donde dichos ED se obtuvieron por de bajo del rango (6-19) ED.

El uso de ultrasonido en geles de almidón a concentraciones de 10 % demostraron que es posible obtener maltodextrinas hasta de 14 ED, ya que las moléculas de amilosa y amilopectina al ser gelificadas se encuentran disponibles y así las ondas ultrasónicas pueden ser transmitidas una a una (Morales *et al.*, 2014); anexo tatan

Tabla 9. Equivalente de dextrosa utilizando ultrasonido a 25 ± 2°C

Método	AR (g/L)	ED
SS (0 min)	0.23 ± 0.14	0.10 ± 0.06
SC (60 min)	0.19 ± 0.03	0.08 ± 0.01
SC (30 min)	0.14 ± 0.05	0.07 ± 0.02
SI (60 min)	0.11 ± 0.05	0.02 ± 0.02

Tabla 8. Equivalente de dextrosa utilizando ultrasonido a 70 ± 2°C

Método	AR (g/L)	ED
SS (0 min)	2.80 ± 0.17	1.26 ± 0.08
SC (60 min)	2.77 ± 0.15	1.25 ± 0.07
SC (30 min)	2.72 ± 0.27	1.22 ± 0.12
SI (60 min)	2.97 ± 0.08	1.34 ± 0.04

Shewale y Pandit, en el 2009 concluyen que utilizando ultrasonido de sonda de alta potencia 750 W/20 kHz al 100% de amplitud, tuvo un efecto en la obtención de maltodextrina en almidón de sorgo

7.2.2 Tratamiento explosión por vapor

En la tabla 7 se muestra el efecto de la aplicación de vapor saturado a altas temperaturas (170 ° C y 142.2 psi) durante tiempos de retención (10,15 y 20 s). Se observa un incremento, pero no se encuentran dentro del nivel de significancia del 5% ($p < 0,05$) por el test de Tukey: Explosión por vapor por diez segundos mostros alcanzar maltodextrinas hasta de 15 ED, 11 veces mayor con respecto al control.

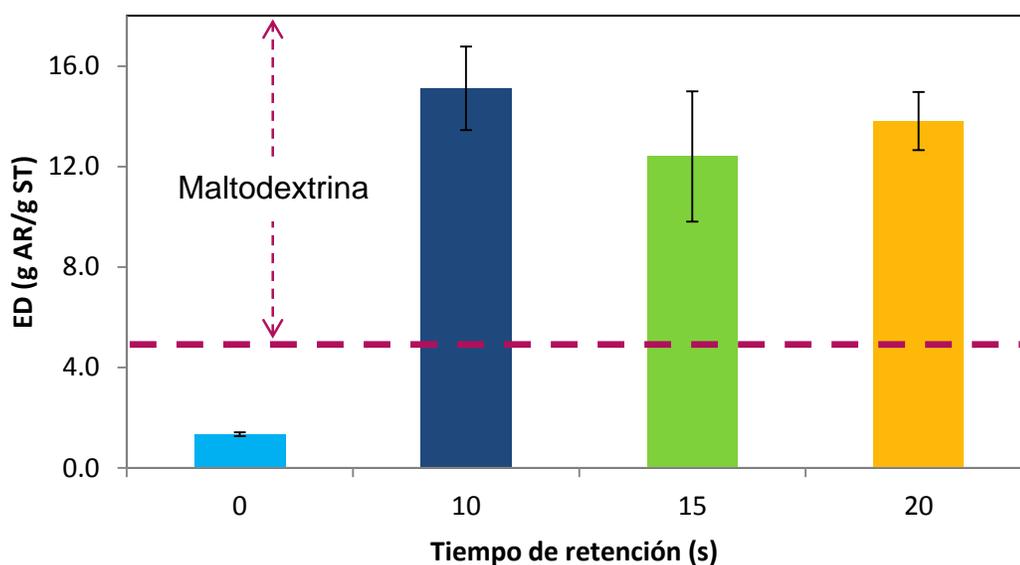


Figura 5. Producción de maltodextrina mediante explosión por vapor.

Aunque no hay reportes de obtención de maltodextrina aplicando Explosión por vapor, esto se debe a que al someter la pulpa de plátano macho a estas condiciones y la descompresión que produce una explosión es parte fundamental ya que en este proceso de hidratación con vapor saturado las moléculas de almidón, amilosa y amilopectina son hidratadas y son fraccionadas o hidrolizadas por acción física, los enlaces alfa 1-4 y alfa 1-6 son fraccionados.



Figura 6. Maltodextrina obtenida de explosión por vapor tratamiento 10 s

Noda y colaboradores en el 2013 mencionan que Explosión de vapor consiste en una hidrólisis de vapor a alta temperatura y presión se ha conocido como un método de tratamiento eficaz para degradar y despolimerización de los componentes de la biomas, obtuvieron mayor extracción de antioxidantes de *Allium sativum*.

7.3 Solubilidad (S), Factor de hinchamiento (FH) y Capacidad de retención de agua (CRA).

Los valores de solubilidad del almidón obtenido de plátano macho verde de desecho se presentan en la tabla 4. Donde se compara con un almidón grado reactivo. Sé observó un incremento en la solubilidad del ARe (6.43) a 60 °C con una diferencia significativa ($p < 0,05$) con respecto a las temperaturas 25 y 45 °C pero no contra AP a 85 °C quien fue significativamente ($p < 0,05$) más soluble con 12.83% de Solubilidad.

Tabla 10. Solubilidad de almidón de plátano macho y maltodextrina

Almidón	Solubilidad (%)			
	Temperatura			
	25 °C	45 °C	65 °C	85 °C
ARe	2.86 ± 0.00	0.64 ± 0.05	6.43 ± 0.55	
AP	1.56 ± 0.00	3.19 ± 1.46	3.49 ± 0.65	12.83 ± 2.33
Maltodextrina				
EV 10	5.28 ± 0.42	4.27 ± 0.66	6.03 ± 0.94	15.10 ± 0.28
EV 15	4.44 ± 0.16	5.88 ± 0.15	7.64 ± 0.17	14.11 ± 0.47
EV 20	4.39 ± 0.00	2.45 ± 0.98	5.81 ± 0.87	11.72 ± 0.71

*Nota: Determinación de solubilidad en dos espesantes

La media ± desviación estándar seguido por la misma letra, en la misma columna, no difieren en el nivel de significancia del 5% ($p < 0,05$) por el test Tukey; **Almidones:** (ARe)=almidón reactivo; (AP)=almidón de plátano.

Maltodextrina: (EV10)= Explosión por vapor con 10 segundos; (EV15)= Explosión por vapor con 15 segundos; (EV20)= Explosión por vapor con 20 segundos.

De la misma manera se analizó el comportamiento de solubilidad para las maltodextrina obtenidas. Donde se observó un incremento en la solubilidad para EV 10 (15.10%) sin embargo no hay diferencia significativa con respecto a las maltodextrinas obtenida a diferentes tiempos.

El poder de hinchamiento (PH) y la capacidad de absorción de agua (CRA) se pueden observar en la Tabla 5 y 6. Poder de hinchamiento (PH) es una medida de la capacidad de hidratación de gránulos como se determina por el peso del gránulo de almidón hinchado. En este estudio, la solubilidad, capacidad de hinchamiento de potencia fue directamente proporcional al aumento de temperatura. Los gránulos de almidón comienzan a hincharse (S y CRA) a 65 °C y el PH a los 65 °C descendió su capacidad de hinchamiento.

La mayor capacidad de retención de agua fue dada para el almidón de plátano macho con una diferencia significativa ($p < 0,05$) a 85 °C con 103.00.

Tabla 11. Capacidad de retención de agua y Poder de hinchamiento en almidón de plátano macho y maltodextrina.

Capacidad de absorción de agua				
Almidón	Temperatura (°C)			
	25	45	65	85
ARe	2.69 ± 0.00	2.62 ± 0.02	29.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
AP	03.56 ± 0.00	03.83 ± 0.15	20.42 ± 7.58	103.00 ± 0.87
Maltodextrina				
EV 10	5.86 ± 0.23	6.60 ± 0.13	8.94 ± 0.21	16.17 ± 0.59
EV 15	5.98 ± 0.00	8.13 ± 0.24	9.56 ± 0.68	16.97 ± 0.74
EV 20	6.07 ± 0.17	7.55 ± 0.27	10.96 ± 0.26	16.74 ± 0.62

Poder de hinchamiento				
Almidón	Temperatura (°C)			
	25	45	65	85
AR	1.06 ± 0.00	1.04 ± 0.05	0.46 ± 0.24	
AP	0.91 ± 0.00	0.96 ± 0.01	0.87 ± 0.08	0.65 ± 0.04
Maltodextrina				
EV 10	0.87 ± 0.01	0.94 ± 0.02	0.87 ± 0.08	0.65 ± 0.04
EV 15	0.93 ± 0.02	0.94 ± 0.00	0.61 ± 0.20	0.97 ± 0.23
EV 20	0.94 ± 0.01	0.88 ± 0.00	0.69 ± 0.23	0.71 ± 0.08

La media ± la desviación estándar seguidos en la misma columna, no difieren en nivel de significación del 5% ($p < 0,05$) por el test Tukey; Existe diferencia significativa ($p < 0,05$) en CRA a 85 °C en AP (103.00); **Almidones:** (ARe)=almidón reactivo; (AP)=almidón de plátano. **Maltodextrina:** (EV10)= Explosión por vapor con 10 segundos; (EV15)= Explosión por vapor cocon 15 segundos; (EV20)= Explosión por vapor con 20 segundos.

XIII. CONCLUSIÓN

EL uso de pulpa de plátano macho verde de desecho para obtener maltodextrina mediante explosión por vapor fue exitosamente satisfactorio obteniendo hasta 15 Equivalentes de dextrosa con el tratamiento a 10 s. Mediante el uso u aplicaciones de esta tecnología se puede reducir el tiempo y procesos para la obtención de maltodextrina así mismo también es un equipo amigable con el medio ambiente ya que es operado a base de vapor.

Las aplicación de ondas ultrasónicas no arrojó buenos resultados al posicionarnos por debajo de los ED deseados.

VII. Bibliografía

Bello P.L.A., Agama A.E., Sánchez H.L., Paredes L.O. (1999). Isolation and partial characterization of banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 854–857

Beynum G.M.A., Roels J.A. (1985). *Starch conversion technology*. Ed. Marcel- Dekker. Nueva York, Estados Unidos. pp. 360.

Biliaderis C.G. (1991). The structure and interactions of starch with food constituents. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 69: 60-63.

SL., Bello-Perez, L.A. (2006). Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour. *Planta Foods for Human Nutrition* 61, 131-137.

DEIA (2010). *Diccionario de Especialidades de la Industria Alimentaria*. Vigésima edición. Ediciones PLM. S.A. de C.V. México

Lumdubwong N., Seibb A.P. (2001) Low- and Medium DE Maltoeextrins From Waxy

Yuko Noda, Chikako Asada, Chizuru Sasaki, Saki Hashimoto, Yoshitoshi Nakamura. (2013). Extraction method for increasing antioxidant activity of raw garlic using steam Explosión. *Biochemical Engineering Journal*. 73: 1– 4.

Wheat Starch: Preparation and Properties. *Starch/Stärke* 53: 605–615

Vilaplana, F., Gilbert, R. G. 2010. characterization of branched polysaccharides using multiple-detection size separation techniques. *Journal of Separation Sciences*. 33, 3537-3554

GPC (1996). Grain Processing Corporation. Maltrin. Maltodextrins and corn syrups solids. Muscatine, Iowa. USA

FAO 2011. Producción mundial de plátanos (de postre y cocción). Disponible en línea <https://faostat.fao.org/site/567/desktopdefault.aspx?pagelid=567#ancor>

SIAP-SAGARA., Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica, Análisis Sectorial y Tecnologías de la Información, julio 2014, panorama del plátano.

J. Qian, X. Chen, X. Ying y B. Lv, "Optimización de Poroso Preparación de almidón por Ultrasonidos Pretratamiento Seguido por hidrólisis enzimática," International Journal of Food Science & Technology, Vol. . 46, No. 1, 2011, pp 179-185.

MM Lomboy, SK Khanal, J. Leeuwen, DR Raman y D. Grewell, "simultánea sacarificación y fermentación y Evaluación Económica de Ultrasonidos y Jet Cocinar Pretratamiento de maíz de lechada," Biotechnology Progress, vol., 27, No. 6, 2011, pp 1561-1569

Bligh, E.G., Dyer, W.J., 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology 37, 911–917.

Izidoro D. R., Sierakowski M.R., Isidoro H.C.W., Fernandes S.C., Agnes de Paula Scheer., (2011). Physical and chemical properties of ultrasonically, spray-dried green banana (*Musa cavendish*) starch., Journal of Food Engineering 104 (2011) 639–648.

Medina G.L., Montañez S.J.L., García L.I. (2013). Obtención de Maltodextrina por vía enzimática a partir de almidón de camote (*Ipomea batatas*)., tesis- maestría., Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR-IPN-Michoacán.

Rocha G.P.M., Rodriguez L.C.; Amante E.R. (2005). Cassava and corn starch in maltodextrina production. Quimica Nova, 28(4):596-600.

Shamekh S., Myllarine O., Poutane K., Forssell P. (2002). Film formation propieties of potato starch hydrolysates. *Starch*, 54:20-24.

Zhan, P., Hamaker, B.R., 2012. Banana starch structure and digestibility *Carbohydrate Polymer*. 87, 1552- 1558.

Tester F.R., Karkalas J., 2001. The effecto of enviromental conditions on structural features and physoco-chemical propieties of starches. *Starch*, 53:513-519.

Yuzhen Zhang, Xiaoguo Fu, Hongzhang Chen., 2012. Pretreatment based on two-step steam explosion combined with an intermediate separation of fiber cells-Optimization of fermentation of corn straw hydrolysates. *Bioresource Technology* 12: 100–104

Chikako Asada, Keita Doi, Chizuru Sasaki, Yoshitoshi Nakamura., 2012. La extracción eficiente de almidón a partir de microalgas Uso de ultrasonidos Homogeneizador y su conversión en etanol por fermentación simultánea sacarificación. Vol.3 No.4

Salunkhe D.K. and Deseal B. B. 2000. Postharvert Biotechnology of Fruits. Volumen 1 Ed. CRC PRESS. Boca Raton, Florida. Pp. 43-47.

Cachago A., Paredes M. y Laura N. 2004. Efecto de la precocción he inhibidores enzimáticos sobre el pardeamiento en la elaboración de la pulpa de plátano dominico verde (*Musa paradisiaca*) alimentos ciencia e ingeniería.13 (2):63-74.

Francesco Laia, Ilaria Franceschinib, Francesco Corriasa, Maria Chiara Salab, Francesco Cilurzob, Chiara Sinicoa, Elena Pinib. (2015). Maltodextrin fast dissolving films for quercetin nanocrystal delivery. A feasibility study. *Carbohydrate Polymers* 121 (2015) 217–223

Anexo 1

Propiedades químicas de la pulpa del plátano macho

1.1 Sólidos solubles (° Brix)

La determinación de los sólidos solubles. Se despulpo el plátano macho y trituro la con ayuda de una licuadora, se pesaron 25 g de pulpa fresca y se diluyo a 50 mL., mantener en agitación durante 5 minutos y leer al refractómetro.

Nota. Calibrar el refractómetro con agua destilada antes de su uso.

1.2 Determinación de acidez titulable

El objetivo fue determinar ácido málico el cual predomina en el fruto.

Preparación de la muestra

15 g de muestra tritura y homogenizada, se transfiere a un vaso de precipitado de 100 mL se agregan 40 mL de agua y se mantiene en agitación durante una hora. Se filtra a través de algodón absorbente, los residuos son lavados con agua, neutralizada.

El filtrado se transfiere a un matraz aforado de 100 mL, se completa el volumen y se agita perfectamente antes de tomar la alícuota para el análisis.

Se toma una muestra preparada y diluida, se transfiere a un vaso de precipitado de 100 mL y se diluye a 50 mL con agua recién hervida y enfriada y neutralizada.

Se agregan 3 gotas de fenolftaleína como indicador, enseguida comenzar a agregar el hidróxido de sodio al 0.1 N, gota a gota hasta que la muestra vire a un color violeta. La Expresión de resultados g de ácido málico / g de pulpa fresca

1.1 Humedad y Sólidos totales.

La humedad fue determinada por el método de la NMX-F-083-1986. Se pesaron 5 g de muestra en charolas de aluminio (puestas previamente a peso constante), se colocaron en la estufa a 100 ± 1 °C durante 3h. Posteriormente, se enfriaron en un desecador por 20 min. Finalmente, se pesaron y se determinó la humedad por diferencia de peso utilizando la ecuación 1 y sólidos totales ecuación 2.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso inicial (g)} - \text{Peso Sólidos totales (g)}}{\text{Peso inicial (g)}} \times 100 \quad \text{ec. 1}$$

$$\% \text{ de sólidos totales} = \frac{\text{Peso muestra seca (g)}}{\text{Peso inicial (g)}} \times 100 \quad \text{ec. 2}$$

1.2 Cenizas

Se analizaron con el método 08-01 de la AACC (AACC, 2000). Se pesó 1 g de muestra en un crisol (puesto a peso constante), se carbonizó la muestra sobre la flama de un mechero y se introdujo en la mufla a 550 ± 1 °C por 5 h. Cuando las cenizas estuvieron blancas, se enfriaron en un desecador. Finalmente, se pesaron y se calculó el porcentaje de cenizas con la ecuación 3.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{Peso de cenizas (g)}}{\text{Peso de la muestra húmeda (g)}} \times 100 \quad \text{ec. 3}$$

1.3 Sólidos solubles (° Brix)

La determinación de los sólidos solubles. Se despulpa el plátano macho y trituro la con ayuda de una licuadora, se pesaron 25 g de pulpa fresca y se diluyo a 50 mL., mantener en agitación durante 5 minutos y leer al refractómetro.

Nota. Calibrar el refractómetro con agua destilada antes de su uso.

1.4 Determinación de acidez titulable

El objetivo fue determinar ácido málico el cual predomina en el fruto.

Preparación de la muestra

15 g de muestra tritura y homogenizada, se transfiere a un vaso de precipitado de 100 mL se agregan 40 mL de agua y se mantiene en agitación durante una hora. Se filtra a través de algodón absorbente, los residuos son lavados con agua, neutralizada.

El filtrado se transfiere a un matraz aforado de 100 mL, se completa el volumen y se agita perfectamente antes de tomar la alícuota para el análisis.

Se toma una muestra preparada y diluida, se transfiere a un vaso de precipitado de 100 mL y se diluye a 50 mL con agua recién hervida y enfriada y neutralizada.

Se agregan 3 gotas de fenolftaleína como indicador, enseguida comenzar a agregar el hidróxido de sodio al 0.1 N, gota a gota hasta que la muestra vire a un color violeta. La

Expresión de resultados g de ácido málico / g de pulpa fresca

Anexo 2.

Obtención de almidón de pulpa de plátano macho de desecho

Consistió en utilizar solo la pulpa del plátano, la cual fue cortada en rodajas de aproximadamente 3 mm de espesor, enseguida las rodajas serán depositadas en charolas que se introducirán a un horno con el objetivo de llevar a cabo el secado, las hojuelas serán molidas y tamizadas a través de una malla de 150 μm de apertura. Por último la harina fue envasada en bolsas ermiticas, y almacenadas en un lugar seco a temperatura ambiente para su posterior uso y análisis.

Anexo 3. **Propiedades funcionales del almidón**

Se preparó una solución al 1 % p/v y fue colocada a baño maría a temperaturas de 25, 45, 65 y 85 °C durante 30 min con agitación intermedia cada 5 min. La suspensión se centrifugo a 500 rpm/ 30 min. Se decantó el sobrenadante y fueron pesados los gránulos de almidón. Los gránulos de almidón y 10 mL de sobrenadante se secaron a 100 ° C durante 5 h hasta un peso constante. Para calcular solubilidad, capacidad de retención y poder de hinchamiento se utilizaron las formulas siguientes:

$$\% S = \frac{PS \text{ sobrenadante}}{P.S \text{ muestra}} \times 100 \quad ec. 1$$

$$PH = \frac{PS \text{ pastilla}}{PS \text{ muestra}} \quad ec. 2$$

$$CRA = \frac{P \text{ del gel formado}}{PS \text{ muestra}} \quad ec. 3$$

Anexo 4.

Determinación de Equivalentes de Dextrosa.

Determinar el equivalente de dextrosa empleando el método de DNS (Miller, 1959), en muestras de almidón hidrolizadas por métodos de obtención mediante explosión por vapor y ultrasonido.

La determinación del equivalente de dextrosa por el método de DNS (Ácido Dinitrosalicílico) se fundamenta en el carácter oxidante del ácido dinitrosalicílico que reacciona con los grupos reductores de los productos de la reacción catalítica. El DNS se encuentra en exceso con respecto a dichos grupos reductores, y es adicionado en la misma cantidad en cada muestra, provocando distintas coloraciones, cuya absorbancia puede ser determinada por espectrofotometría visible a 540 nm. La coloración de las muestras se intensifica a mayores concentraciones de azúcares reductores.

$$ED = \frac{(\text{g de azucares reductores/L})}{\text{Solidos totales}} \times 100 \quad \text{ec. 4}$$

3. Materiales.

- Balón aforado de 100 mL
- Balón aforado de 500 mL
- Tubos de ensayo de vidrio
- Pipeta de 10 mL
- Pipeta de 1 mL

4. Reactivos

- Glucosa
- Ácido dinitrosalicílico (DNS)
- Tartrato de sodio y potasio tetrahidratado

5.-Preparación de la muestra.

La preparación de la muestra se realizara adicionando 0.5 mL de muestra más 0.5 mL de NaOH por ultimo 1 mL de DNS se tapara el tubo y agitara en vortex y se colocara en ebullición durante 10 min. Posteriormente se adicionaran 5 mL de H₂O fresca y se dejara reaccionar durante 10 min y se leerá al espectro a 540 nm.