

# ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS ESPESANTES Y VISCOSANTES DEL ALMIDÓN DE BANANO, COMPARADO CON

## LOS ALMIDONES UTILIZADOS COMERCIALMENTE

**Mauricio Ricardo Góngora Quevedo**

### 1. Resumen

En la fabricación de medicamentos, un excipiente es una sustancia inactiva usada para incorporar el principio activo. Además pueden ser utilizados para ayudar al proceso mediante el cual un producto es manufacturado. Estas sustancias afectan directamente el producto final de muchas maneras, como la calidad de estos o los aspectos económicos de los mismos.

El almidón, un producto de proveniencia vegetal, es uno de los excipientes más utilizados en la práctica Industrial, ejemplo de ello es el relleno para tabletas. Este almidón puede provenir de muchos tipos de planta, siendo los almidones más utilizados los de maíz y de trigo, entre otros. El almidón extraído de banano es un producto nuevo comparado con los almidones más utilizados comercialmente, y aún no se utiliza en la Industria Farmacéutica porque carece de algunos estudios que avalen las características más importantes que puedan ser aprovechadas en la industria.

El presente estudio trató de la investigación practica de una de las características mejor aprovechadas de los almidones en la Industria; su poder viscosante, y comprobó esta característica en el almidón de banano al compararlo con los almidones más utilizados comercialmente, es decir, el almidón de maíz y de trigo.

Al no haber disponible almidón de banano comercialmente, en el estudio se hizo necesario como primer punto la extracción del mismo, la cual se hizo a partir de bananos inmaduros o verdes, porque es en este estado en el que estos frutos tienen el mayor porcentaje de almidón libre. La obtención de almidón de banano se hizo en dos extracciones, en la primera se obtuvo una menor cantidad de almidón comparada con la segunda porque en esta última se utilizó una mayor cantidad de bananos, al haber perfeccionado el método en la primera extracción de almidón.

Al almidón de banano obtenido, así como a los demás almidones, se les realizó la prueba de identificación para almidón, descrito en la Farmacopea Americana (USP) 32, la cual los tres almidones cumplieron. Luego, se midió los volúmenes de sedimentación de suspensiones hechas a distintas concentraciones con los almidones utilizados en el estudio, esto con el objetivo de observar y concluir descriptivamente cual de los tres almidones tiene el mejor perfil de suspendibilidad. Se concluyó que el almidón extraído de banano es el que posee el mejor perfil de suspendibilidad porque se mantiene estable conforme la concentración se aumenta en la suspensión y solo se ve considerablemente aumentado su volumen de sedimentación cuando la concentración de este almidón sobrepasa el 15% peso/volumen en la suspensión.

Posteriormente, se realizó la medición de la viscosidad de suspensiones de los tres almidones utilizados en el estudio, realizando cuatro suspensiones a diferentes concentraciones de cada uno de los tipos de almidón y utilizando un Viscosímetro Brookfield LV, el cual se calibró previamente. El resultado luego de usar herramientas estadísticas para analizar los datos fue la conclusión de que el almidón de banano es el mejor agente viscosante por las altas viscosidades que presento a las concentraciones trabajadas y por lo tanto puede utilizarse como sustituyente de los almidones utilizados comercialmente, cuando estos son utilizados como agentes viscosantes.

Por último, se realizó una prueba de suspendibilidad de un sólido, donde se midieron las capacidades individuales de cada almidón para conocer cual tiene mas ventaja como agente suspensor. Se les agregó a 5 suspensiones de cada almidón a las concentraciones de 2.5%, 5%, 10%, 15% y 20%, 2 gramos de Hidróxido de Aluminio, dando como resultado que el almidón de maíz es el mejor agente suspensor, dado que es el que menos aumenta su

volumen de sedimentación cuando se le agrega el sólido comparado a cuando se encuentra solo en la suspensión, mientras que el almidón de banano resulto ser un agente suspensor muy pobre, y resulta ser un mejor agente viscosante cuando no hay muchos sólidos pesados que mantener suspendidos en una formulación.

## 2. Introducción

El almidón constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos. Su funcionalidad depende del peso molecular promedio de la amilasa y la amilopectina, así como de la organización molecular de estos glucanos dentro del gránulo. Los almidones nativos se utilizan porque regulan y estabilizan la textura y por sus propiedades espesantes y gelificantes. (Triveni, (1994), pág. 57)

El banano representa 2,7% de los cultivos perennes en Guatemala. (FAO, (2004)) Se trata de un fruto climatérico, que una vez que se corta del árbol, inicia un proceso de maduración acelerado, ocasionando que cada año se pierda de 30 a 50% de la cosecha, por lo que se debe buscar alternativas tecnológicas para diversificar su uso y aprovechamiento. En su estado verde o inmaduro, el fruto del plátano tiene hasta un 70% de almidón en base seca, cantidad que es comparable con la que presentan algunos cereales, leguminosas y tubérculos que se han usado tradicionalmente para el aislamiento de este polisacárido. Además, algunos estudios sobre el aislamiento del almidón de banano a nivel laboratorio y su caracterización, han sugerido que dicho almidón puede tener características fisicoquímicas, funcionales y de biodisponibilidad interesantes, como por ejemplo una textura muy suave y una retención de humedad muy buena. (Pérez, et. al., (2009), Vol. 2, pág. 1)

El banano de rechazo es un residuo de cosecha que posee un gran valor desde el punto de vista nutricional cuando está maduro, por ser una fuente de alto potencial energético en la alimentación animal. Se produce anualmente alrededor de 300.000 toneladas de banano verde de rechazo, que equivale a un 10 – 20% de la totalidad de fruta producida. Sin embargo, gran cantidad del banano se pudre, debido a que cuando adquiere su madurez no alcanza a ser consumido. (Bello, et.al., (2000), pág. 1)

La producción de banano de exportación en Guatemala ha desatado un problema ambiental, dadas las exigencias en el control de calidad que acarrearón rechazos de frutas, entre un 10-20% de banano de rechazo por tonelada de fruta producida. Estos rechazos han sido objeto de manipulación incontrolada, como la “costumbre de disponerlos a cielo abierto y en botaderos no autorizados”. Su degradación natural genera gases tóxicos y de efecto invernadero, atracción de vectores y producción de lixiviados que arremeten contra la calidad hídrica superficial y subterránea y la calidad de los suelos. Este problema ha sido estudiado por múltiples investigadores, quienes proponen el aprovechamiento de la fruta en la alimentación animal, el compostaje y la producción de almidón y etanol. (Pérez, et. al., (2009), Vol. 2, pág. 4)

El presente trabajo de investigación buscó comparar las características viscosantes y espesantes del almidón extraído de banano y compararla con las mismas características de los almidones más utilizados comercialmente, como son el almidón de maíz y de trigo, con el objetivo de encontrar un nuevo uso para el almidón de banano, potencialmente más ventajoso y disminuir así la contaminación que provoca.

### 3. Antecedentes

#### 3.1 El almidón

El almidón es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales, y la principal fuente de calorías de la mayoría de la Humanidad. Es importante como constituyente de los alimentos en los que está presente, tanto desde el punto de vista nutricional como tecnológico. Gran parte de las propiedades de la harina y de los productos de panadería y repostería pueden explicarse conociendo el comportamiento del almidón.

Además el almidón, aislado, es un material importante en diversas industrias, entre ellas la alimentaria. La técnica para su preparación se conocía ya en el antiguo Egipto, y está descrita por diversos autores clásicos romanos. A nivel mundial, son importantes fuentes de almidón el maíz y el trigo. A escala local, o para aplicaciones especiales, se obtiene también almidón de la cebada, avena, centeno, sorgo, sagú, guisante, batata y arrurruz.

El almidón más importante desde el punto de vista industrial es el de maíz. Al año se utilizan unos 60 millones de toneladas de maíz para fabricar almidón, bien para su uso como tal o como materia prima para la obtención de glucosa y fructosa.

Lo que llamamos almidón no es realmente un polisacárido, sino la mezcla de dos, la amilosa y la amilopectina. Ambos están formados por unidades de glucosa, en el caso de la amilosa unidas entre ellas por enlaces  $\alpha$  1-4 lo que da lugar a una cadena lineal. En el caso de la amilopectina, aparecen ramificaciones debidas a enlaces  $\alpha$  1-6. (McGilvery, (1987), pág. 118)

### 3.1.1 Usos del almidón

El almidón tiene aplicaciones del mas alto interés, asociado a las materias azoadas o a los cuerpos grasos constituye la base de nuestro alimento, sirve para la fabricación del azúcar de fécula; el de trigo es el que principalmente se emplea en las fábricas de indianas para espesar los mordientes, a los que da una consistencia mayor que la goma, se emplea también unido a la fécula de patatas para dar lustre y consistencia a las telas de lino, cáñamo y algodón. Antiguamente, se consumían grandes cantidades para espolvorear los cabellos, siendo hoy esta la menor de sus aplicaciones. Los confiteros le usan a cada paso para la confección de los confites, finalmente con el engrudo dan las “lavanderas” el almidonado a la ropa blanca, a los encajes, etc. (Barrera, et.al., (2004), pág.. 12)

Bajo el punto de vista económico y médico, poco importa emplear el extraído de tal o cual planta; sin embargo, es indudable que cualesquiera que sean las precauciones que se hayan tomado para preparar las féculas de diferentes plantas, siempre producen por el agua caliente gelatinas cuyo olor y sabor difiere mucho. Este olor particular se suele aumentar singularmente cuando se hierve la jalea con ácido sulfúrico, pudiendo ser este un carácter de la mayor importancia para distinguir las féculas unas de otras, especialmente cuando se ha adquirido cierto hábito o cuando se las trata por comparación. (Barrera, et.al., (2004), pág.. 21)

### 3.1.2 El Almidón en la industria:

La importancia del almidón en la industria de alimentos consiste en que constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los

alimentos. El almidón también tiene gran utilidad en una amplia variedad de productos no alimentarios. Por ejemplo pueden ser utilizados como:

- Adhesivos: gomas de cola de fusión, estampillas, encuadernación, sobres, etiquetas.
- Explosivos: adhesivo para la cabeza de los fósforos.
- Papel: recubrimientos de papel, pañales desechables.
- Construcción: aglutinante para tabiques de concreto, adhesivo para madera laminada.
- Metal: adhesivo de metal poroso, aglutinantes para núcleos de fundición.
- Textiles: acabado de telas, estampado.
- Cosméticos: maquillajes, cremas faciales.
- Farmacéuticos: revestimiento de cápsulas, agentes dispersantes.
- Minería: separación de minerales por flotación y sedimentación.
- Otros: películas de plásticos biodegradables, baterías secas, como aglutinante de materias primas en la fabricación de aislantes de asbesto y corcho, como agente espesante en la fabricación de tintes y pinturas, aglutinante en la fabricación de crayones, en la elaboración de fibra de vidrio. (Barrera, et.al., (2004), pág.. 48)

### 3.1.3 Almidón como viscosante:

La utilización del almidón como componente alimentario se basa en sus propiedades de interacción con el agua, especialmente en la capacidad de formación de geles. Abunda en los alimentos amiláceos (cereales, patatas) de los que pueden extraerse fácilmente y es la más barata de todas las sustancias con estas propiedades; el almidón más utilizado es el obtenido a partir del maíz. Sin embargo, el almidón tal como se encuentra en la naturaleza no se comporta bien en todas las situaciones que pueden presentarse en los procesos de fabricación de alimentos. Concretamente presenta problemas en alimentos ácidos o cuando éstos deben calentarse o congelarse, inconvenientes que pueden obviarse en cierto grado modificándolo químicamente. (Yufera, (2004), pág. 384)

Una de las modificaciones más utilizadas es el entrecruzado, que consiste en la formación de puentes entre las cadenas de azúcar que forman el almidón. Si los puentes se forman utilizando trimetafosfato, tendremos el fosfato de dialmidón; si se forman con epíclorhidrina, el éter glicérico de dialmidón y si se forman con anhídrido adípico el adipato de dialmidón. Estas reacciones se llevan a cabo fácilmente por tratamiento con el producto adecuado en presencia de un álcali diluido, y modifican muy poco la estructura, ya que se forman puentes solamente entre 1 de cada 200 restos de azúcar como máximo. Estos almidones entrecruzados dan geles mucho más viscosos a alta temperatura que el almidón normal y se comportan muy bien en medio ácido, resisten el calentamiento y forman geles que no son pegajosos, pero no resisten la congelación ni el almacenamiento muy prolongado (años, por ejemplo, como puede suceder en el caso de una conserva). Otro inconveniente es que cuanto más entrecruzado sea el almidón, mayor cantidad hay que añadir para conseguir el mismo efecto, resultando por lo mismo más caros. (Yufera, (2004), pág. 384)

La viscosidad de la pasta de un almidón es en gran medida la característica más importante de los almidones, pues determina a qué tipo de productos se puede aplicar. La estabilidad de la viscosidad durante su procesamiento es de suma importancia, pues el almidón deberá mantener su viscosidad durante los diferentes tratamientos térmicos o mecánicos que sufre la muestra durante su procesamiento. (Yufera, (2004), pág. 385)

Los dos métodos más utilizados para medir la viscosidad en los engrudos o pastas de almidón son el viscoamiloógrafo de Brabender o el Rapid Viscoanalyzer (RVA) de Newport Scientific. Estos métodos nos indican la temperatura en que el almidón empieza a ligar agua, que tan estable es la viscosidad en el período de agitación a temperatura constante de 90°C y cómo se comporta el almidón durante el enfriamiento. Un almidón ideal será aquel que una vez alcanzó su máximo de viscosidad, lo mantenga estable durante la agitación y el enfriamiento. (Da Mota, (2000), pág. 64)

### 3.2. Propiedades de la pasta de almidón

Cuando una solución acuosa de almidón se calienta, sus gránulos se hinchan y producen una solución viscosa, más o menos estable al calentamiento, y que al enfriarse puede o no producir geles de diferente grado de firmeza y estabilidad. El amilógrafo Barbender es un aparato que permite registrar los cambios de viscosidad de una suspensión de almidón, calentada lentamente con agitación, sometida a una temperatura elevada por un lapso de tiempo, y por último enfriada lentamente. (Da Mota, (2000), pag. 64) (Whistler, et.al., (2003), pág. 83)

Cada tipo de almidón tiene un diferente grado de cristalización y por lo tanto se hincha y gelatiniza en distintas condiciones de temperatura. La temperatura a la que se pierde la birrefringencia y se produce el máximo hinchamiento de los gránulos de almidón se llama temperatura de gelatinización. (Da Mota, (2000), pág. 66)

### 3.3 Obtención de Almidón de maíz, trigo y otros

Al hacer la molturación en seco se obtienen harinas, pero algunas veces se realiza húmeda para obtención de otras sustancias como almidón, proteína, aceite y fibra. El almidón para uso comercial se extrae principalmente de cereales como el maíz, el arroz y tubérculos como la yuca. (Suarez, et.al., (2003), pág. 12)

Los granos de maíz se colocan en agua caliente con temperaturas entre 48°C y 52°C durante cuarenta horas con el fin de ablandarlos. Para facilitar la extracción de almidón se adiciona al agua, dióxido de azufre. Los granos de maíz ya ablandados se presionan y se obtiene agua de color blanco, que se recolecta. (Suarez, et.al., (2003), pág. 12)

Los granos que quedan del prensado se muelen para separar el almidón que aún queda en ellos, se realizan varias lavadas para obtener más agua blanca, la cual se deja sedimentar y la masa que queda en el fondo se secará en hornos a 80°C durante diez horas. (Suarez, et.al., (2003), pág. 12)

La masa se muele en un molino de martillo para obtener un almidón fino. El almidón se empaca en sacos de papel grueso o bolsas de plástico para evitar el contacto con la humedad del ambiente; es importante colocar a fecha de elaboración para controlar su vida útil. (Suarez, et.al., (2003), pág. 13)

La vida útil promedio del almidón de maíz con unas condiciones buena de proceso es de seis meses y se debe almacenar en sitios secos sobre estibas de madera o plástico para evitar el contacto con el suelo. El almidón es muy utilizado en preparación de productos de panadería como almojábanas, natillas y panes. (Suarez, et.al., (2003), pág. 13)

### 3.3.1 Vertidos de la industria de almidón de maíz

Los productos de almidón de maíz se emplean extensamente en los campos de la química y materias primas. Esta industria emplea el maíz para producir almidón, aceite y pienso. Un Bushel de maíz pesa, por regla general aproximadamente 25.4 kg., y en la molido húmeda el proceso produce unos 14.5 kg. De almidón perla (utilizado en la fabricación de tejidos), 725 gramos de aceite y de 5.9 a 6.3 kg. De pienso. La composición del grano de maíz es aproximadamente la siguiente: carbohidratos, 80 por 100; fibra 3.5 por 100; aceite (grasa) 4.5 por 100: y minerales, 2 por 100. A principios de la década de los años 30, la industria comenzó el empleo de un programa de reutilización de aguas residuales, que ha reducido las pérdidas de fabricación a menos de 0.5 por 100 de la materia prima del maíz seco. Dicho programa ha recibido el nombre de sistema embotellado. (Nemerow, (1998), pág. 33)

Aún antes de que se utilizaran las prácticas de tratamiento de vertidos en la industria, era común el proceso en sistema “embotellado”, que se introdujo para reducir la contaminación de los ríos, y que puede considerarse ahora como una parte real del proceso de una fábrica de almidón. Los vertidos de esta industria contienen residuos y pérdidas de los procesos de reutilización. El proceso de reutilización se ha descrito como: 1) recirculación del agua de proceso; 2) empleo de parte de esta agua recirculada como agua de remojo; 3) la adición al gluten de todos los residuos orgánicos secados con el fin de producir un pienso mejorado. (Nemerow, (1998), pág. 34)

Los principales vertidos de fábricas de almidón son: 1) materias orgánicas volátiles arrastradas en el condensador del evaporador; 2) jarabe de los vertidos finales; 3) vertidos de los procesos de reutilización que aparecen principalmente debido a un desequilibrio entre el agua nueva que se añade, la cantidad de agua recirculada y la

cantidad de agua de remojo de los evaporadores. Por cada bushel de maíz que se elabore, se emplean 151 litros de agua directamente en el proceso y otros 378.5 a 757 litros con otros fines, aunque mucha de esta agua se reutiliza. (Nemerow, (1998), pág. 34)

### 3.4 Almidón en Banano

La banana o plátano es una fruta tropical procedente del árbol que recibe el nombre de banano o plátano, perteneciente a la familia de las Musáceas. Tiene forma alargada o ligeramente curvada, de 100-200 g de peso. La piel es gruesa, de color amarillo y fácil de pelar, y la pulpa es blanca o amarillenta y carnosa. El plátano es un alimento de gran valor nutritivo. En su composición destaca su riqueza en hidratos de carbono (70% de su peso en estado inmaduro y cerca del 20% en estado maduro). En el plátano inmaduro el hidrato de carbono mayoritario es el almidón, pero a medida que madura, este almidón se va convirtiendo en azúcares sencillos como sacarosa, glucosa y fructosa. <sup>(13)</sup>

El banano es una fuente alterna para la obtención de almidón, en su estado verde o inmaduro esta fruta contiene principalmente almidón, por lo que se puede diversificar su uso como materia prima para el aislamiento de este polisacárido. En la actualidad, se le ha prestado mucha atención a los almidones de las musáceas especialmente del plátano verde, ya que son parcialmente resistentes a la hidrólisis por parte de amilasas digestivas. Para fines nutricionales, Englyst y Cummings (1992), clasificaron el almidón como digerible y resistente. El primero es degradado hasta glucosa por enzimas en el tracto. El segundo se escapa de la digestión en el intestino delgado, pero se fermenta en el colon. (Cervera, et.al., (2008), pág. 1)

El banano está compuesto por una gran cantidad de nutrimentos; contiene una pequeña cantidad de aceite, el cual no sufre cambio alguno durante la maduración. Es una fuente de calcio y hierro, además de ser rico en potasio, sodio, magnesio y fósforo. Inclusive la cáscara es una fuente potencial de pectina. (Cabrera, (2005), pág. 1)

Tabla 3.1. Composición química de la pulpa de banano verde <sup>(Cabrera, (2005), pág. 3)</sup>

<b>Nutriente</b>	<b>En 100 g. De pulpa</b>
Energía (calorías)	110.00
Humedad (grs.)	69.00
Proteína (grs.)	1.40
Grasa (grs.)	0.20
Carbohidratos Totales	28.70
Fibra (grs.)	0.70
Ceniza (grs.)	0.90
Calcio (mg.)	8.00
Fósforo (mg.)	17.00
Hierro (mg.)	0.80
Vitamina A (mcg.)	45.00

Tabla 3.2 Contenido de almidón en distintas especies de banano, obtenidos  
En distintos estudios. (Cervera, et.al., (2008), pág. 2)

<b>Autor</b>	<b>Variedad</b>	<b>Almidón (%)</b>
Lii, et. Al.	Musa spp.	61.74%
Pérez, et. Al.	<i>Musa paradisiaca</i> Normalis	12%
Bello, et. Al.	Macho y Criollo	43.8% y 11.8%
Núñez, et. Al.	<i>Musa paradisiaca</i> (Macho)	80.5%

Tabla 3.3. Información Nutricional de Almidón de Banano, comparada con los  
Almidones más utilizados comercialmente (maíz y trigo) (Pérez, et. al., (2009), Vol. 2, pág. 3)

<b>Parámetro</b>	<b>Harina de Maíz</b>	<b>Harina de Trigo</b>	<b>Harina de Banano</b>
Energía	343 Kcal	341 Kcal	92 Kcal
Proteínas	8.3 g.	9.86 g.	1.03 g.
Carbohidratos	66.3 g.	70.6 g.	23.43 g.
Grasa Total	2.8 g.	1.20 g.	0.48 g.
Colesterol	0 mg.	0 mg.	0 mg.
Calcio	18 mg.	17 mg.	6 mg.
Hierro	<0.1 mg.	1 mg.	0.31 mg.
Potasio	120 mg.	146 mg.	396 mg.
Sodio	0.7 mg.	2.0 mg	1.0 mg.
Vit. C	0 mg.	0 mg.	9.1 mg.
Vit. B1	0.44 mg.	0.11 mg.	0.04 mg.

Vit. B2	0.13 mg.	0.03 mg.	0.100 mg.
Vit. A	50 µg.	0µg	81µg.

### 3.4.1 Vertidos de cultivos de banano de rechazo

El banano de rechazo es un residuo de cosecha que posee un gran valor desde el punto de vista nutricional cuando está maduro, por ser una fuente de alto potencial energético en la alimentación animal. Sin embargo, un porcentaje de entre el 10% y el 20% del banano se pudre, debido a que cuando adquiere su madurez no alcanza a ser consumido. (Martínez, (2005), pág. 13)

La producción de banano de exportación (variedad *Cavendish valery*) ha desatado un problema ambiental, dadas las exigencias en el control de calidad que acarrearán rechazos de fruta entre un 10-20% de banano de rechazo por tonelada de fruta producida. En el 2005, Colombia exportó 1.619.279 toneladas de banano, lo que indica que se generaron alrededor de 161.927,9 – 323.855,8 toneladas de banano de rechazo, las nuevas metas para la producción de banano de exportación indican que de igual manera la producción de banano de rechazo también aumentará. (Martínez, (2005), pág. 15)

El banano verde posee un alto contenido de almidones, bajo contenido proteico y un alto contenido de taninos, por lo que no es una fuente nutricional adecuada para la alimentación animal. Estos rechazos han sido objeto de manipulación incontrolada, como la “costumbre de disponerlos a cielo abierto y en botaderos no autorizados”. Su degradación natural genera gases tóxicos y de efecto invernadero, atracción de vectores y producción de lixiviados que arremeten contra la calidad hídrica superficial y subterránea y la calidad de los suelos. Este problema ha sido estudiado por múltiples investigadores, quienes proponen el aprovechamiento de la fruta en la alimentación animal, el compostaje y la producción de almidón y etanol. (Martínez, (2005), pág. 15)

### 3.4.2 Obtención de almidón de banano

#### 3.4.2.1 Aislamiento del almidón a nivel de planta piloto por el método neutro, propuesto por Flores – Gorosquera, Emigdia, et. al. (2004)

- a.) A nivel de laboratorio: Los frutos de plátano son adquiridos directamente de las plantaciones, cuando esta en estado verde o inmaduro. La selección se hace de esta manera debido a que el fruto en ese momento ya tiene el tamaño y peso adecuado para su comercialización. Se pesan lotes entre 2,4 y 3,1kg del fruto, se elimina la cáscara, se cortan en trozos de 2-3 cm de largo y se colocan en un vaso de precipitado de 4 L con una solución antioxidante de ácido cítrico, debido a que al contacto con el oxígeno se produce oxidación de la pulpa. Luego se realiza una molienda húmeda con licuadora. En cada malla el residuo se lava hasta que el líquido de salida no tuviera residuo aparente de almidón. La suspensión obtenida se separa en una centrifuga y de la pasta resultante se separa el residuo blanco (almidón), el cual se resuspende en agua destilada y se centrifuga nuevamente. Esta operación se repite tres veces. (Flores-Gorosquera, (2004), pág. 1)
- b.) A nivel de planta piloto: Se pesan lotes entre 100 y 150 kg del fruto, después el fruto se coloca dentro de un contenedor con ácido cítrico al 0,3%. Para la molienda húmeda se utilizan tres licuadoras industriales a velocidad máxima por dos minutos, posteriormente el fruto molido se criba sucesivamente en varias mallas. En cada malla el residuo se lava hasta que el líquido de salida no tuviera residuo aparente de almidón. La suspensión obtenida se separa en una centrífuga; posteriormente la pasta resultante se somete a un cribado en malla, donde el residuo se lava. La suspensión se centrifuga nuevamente, y el proceso de separación y purificación del almidón de plátano en el cribado y centrifugado se realiza un total de tres veces para cada operación. La pasta final se seca por aspersion, a una temperatura de entrada de 130-150°C. (Flores-Gorosquera, (2004), pág. 2)

Para determinar la humedad del almidón se pesan de 2-3 g de muestra y se secan en una estufa de aire a  $130 \pm 2$  °C por 2 h. (Flores-Gorosquera, (2004), pág. 2)

#### 3.4.2.2 Extracción de Almidón a partir de Banano, Método de Bonilla (2001)

Se licuan aproximadamente 200 g de pulpa de banano verde en trocitos con 600 ml de solución de bisulfito de sodio al 0.5% durante 5 min. La pulpa licuada se trasvasa a frascos de centrífuga (250 ml) y se centrifuga a 10 rpm por 10 min. Se descarta el líquido sobrenadante y el residuo sólido se mezcla con 600 ml de solución de bisulfito de sodio y se centrifugó a 20 rpm por 10 min., descartando nuevamente el líquido sobrenadante. El residuo sólido se mezcla con 600 ml de agua destilada y se centrifuga a 10 rpm. El líquido sobrenadante se descarta y el residuo sólido se trasvasa a un erlenmeyer de 2.8 L con 600 ml de agua destilada, éste se coloca en un baño de agua a 35°C con agitación. (Bonilla, (2001), pág. 7)

Después de una hora de hidrólisis enzimática, se tamiza la pulpa utilizando una malla de 100 mesh (150 mm). Se lava el residuo que quedó sobre la malla con abundante agua desionizada. Luego se aparta el sólido que queda sobre la malla. El líquido de apariencia lechosa se deja sedimentar por 24 h. Una vez decantado, el residuo extraído se seca en un horno a 60 ° C por un periodo de 24 h. Finalmente, se pulveriza el almidón. (Bonilla, (2001), pág. 7)

### 3.5 Características físicas de una suspensión

#### 3.5.1 ¿Que es una Suspensión?

Las suspensiones son mezclas heterogéneas formadas por un sólido en polvo (soluto) o pequeñas partículas no solubles (fase dispersa) que se dispersan en un medio líquido (dispersante o dispersora). (Aulton, (2004), pág. 58)

Las suspensiones presentan las siguientes características cualitativas:

- Sus partículas son mayores que las de las soluciones y los coloides, lo que permite observarlas a simple vista. Sus partículas se sedimentan si la suspensión se deja en reposo.
- Los componentes de la suspensión pueden separarse por medio de centrifugación, decantación, filtración y evaporación.
- Las suspensiones no atraviesan los filtros y se enturbian al agitarlas.
- Cuando dos líquidos no miscibles (no solubles) se colocan en el mismo recipiente y éste se agita, los componentes se enturbian. Así se forman las emulsiones. (Aulton, (2004), pág. 59)

Ejemplos de suspensiones son: algunos medicamentos, la arena mezclada con el cemento, las aguas frescas elaboradas con frutas naturales y algunas pinturas vinílicas. (Aulton, (2004), pág. 59)

### 3.5.2 Velocidad de Sedimentación de una suspensión

Está relacionada con el tamaño de las partículas, así como con la densidad y la viscosidad del medio de suspensión. (Troy, (2006), pág. 952)

La Calidad de las suspensiones puede determinarse de distintas maneras:

1. Por foto microscopia. (El tamaño y la floculación de las partículas).
2. Por estabilidad física. El grado de sedimentación. (Probeta).
3. Por viscosidad del producto final y del agente suspensos. (Viscosímetro de Brookfield).
4. Por pruebas microbiológicas. (Eficacia del conservador).
5. Por pruebas de envejecimiento. (Las características de la formulación en lo que respecta a la estabilidad y el tiempo útil).
6. Inmediatamente después del agitado; se toma una dosis y se analiza cuantitativamente el contenido de principio activo.
7. En suspensiones oftálmicas se exige la determinación del tamaño de partícula, pues este no debe sobrepasar un tamaño determinado.

8. Los coadyuvantes utilizados e incluso los fármacos incorporados condicionan a una conservación limitada de las suspensiones.
9. Deben guardarse protegidos de la luz y en frío. (Troy, (2006), pág. 952-953)

### 3.6 Medición de Viscosidad utilizando un Viscosímetro Brookfield

Existen tres métodos distintos para la medición de Viscosidad con Viscosímetros Brookfield.

- a.) El primer método o método A, es utilizado para medir la viscosidad aparente de una sustancia midiendo el torque de una aguja que rota a velocidad constante dentro de la sustancia que se esta midiendo. La viscosidad aparente en centipoises es calculada multiplicando la lectura obtenida por el viscosímetro por el factor de la escala individual para dicho viscosímetro, la cual depende de la aguja que se este utilizando y la velocidad a la que esta se encuentra rotando. Si el material es Newtoniano, su viscosidad no depende de la tasa de movimiento y la medición con una sola velocidad es suficiente. Los materiales No-newtonianos requieren medidas a diferentes tasas de velocidad. (Pionteek, (2006), pág. 221)
- b.) En el método B, la viscosidad es medida bajo condiciones cambiantes. La velocidad de rotación es cambiada por pasos y el torque es medido luego de diez revoluciones a cada velocidad. La velocidad luego se disminuye por los mismos pasos y midiendo siempre el torque luego de diez revoluciones después de cada cambio de velocidad. La viscosidad se calcula, entonces para cada punto en la misma manera que en el método A. El resultado se obtiene al dividir la viscosidad aparente de la velocidad más baja por el valor de la viscosidad aparente en la velocidad más alta. (Pionteek, (2006), pág. 221)
- c.) El método C, involucra la aplicación de un dispersor de alta velocidad (generalmente de 2000 rpm) para moverse dentro de la sustancia espesa. Este

método también es utilizado para estimar la tixotropía de una sustancia. (Pionteek, (2006), pág. 222)

#### 4. Justificación

En Guatemala, el banano de rechazo se vende en mercados y en otros establecimientos como banano de segunda clase, debido a que el banano de exportación generalmente no se consume en el país. Una parte de este tipo de banano (entre el 10% y el 20% del total) es rechazado en las industrias exportadoras, por lo tanto no se consume, y es por eso que se queda en el mercado local. Este banano, especialmente el banano verde, muchas veces no llega a ser consumido, especialmente aquel con mala apariencia que no se mueve ni siquiera en el mercado nacional, y se acumula en botaderos no autorizados, a cielo abierto, puestos a la degradación natural, lo que ayuda a la generación de gases tóxicos y de efecto invernadero, atracción de vectores y producción de lixiviados que arremeten contra la calidad hídrica superficial y subterránea y la calidad de los suelos, cuando este mismo banano de ser aprovechado antes de su descomposición podría ser utilizado en alimentación animal o en la producción de etanol y almidón, entre otros.

Considerando la importancia de esta investigación, al extraer el almidón al banano verde se encuentra un uso para lo que de otra forma se desecharía. Cabe mencionar que para la extracción de almidón, los criterios de calidad y estética de la fruta que se usan para clasificar que un banano clasificado como “exportable”, no son de importancia, y es por eso que se le pudo dar uso a una gran cantidad de banano que en la actualidad es catalogado

como “no exportable” es perjudicial para la comunidades cercanas a plantas de empaque de fruta.

Con la extracción y utilización de almidón de banano como viscosante y espesante se le pudo dar, posiblemente, un uso más específico a este almidón, ya que el costo de producción de banano es más competitivo que el costo de producción del almidón de maíz o de trigo, los cuales son los almidones utilizados actualmente en la industria. Además, se comprobó que el almidón de banano tiene mejores propiedades viscosantes que los demás almidones mencionados, lo que fue un hallazgo positivo para la industria alimenticia y farmacéutica, debido a que el costo de producción de almidón de banano a la larga podría ser menor.

## 5. Objetivos

### 5.1 Objetivo general:

- Comprobar que el almidón de banano es un buen sustituto como viscosante, de los almidones de maíz y de trigo.

### 5.2 Objetivos específicos:

- Obtener almidón de banano, a partir de bananos verdes comprados en algún mercado del área capitalina.
- Efectuar la identificación del almidón extraído de banano, por el método descrito en la última farmacopea estadounidense vigente.
- Examinar cual de los almidones investigados tiene mejor volumen de sedimentación

- Comparar la viscosidad del almidón de banano contra las viscosidades de los almidones utilizados comercialmente para conocer cual almidón tiene el mejor perfil de viscosidad para ser utilizado en industria.
- Determinar si el almidón de banano cumple como agente suspensor de la misma manera que lo hacen los almidones utilizados comercialmente.

#### 6. Hipótesis

El almidón extraído de banano verde puede reemplazar a los almidones de maíz y de trigo, como espesante.

## 7. Materiales y Métodos

### 7.1 Universo y Muestra

El Universo de la investigación fueron todos los tipos de almidón que pueden ser extraídos en un laboratorio químico y que pueden ser utilizados como espesantes en formulaciones líquidas o semi-sólidas. La muestra de esta investigación fueron el almidón extraído de banano verde que el mismo investigador extraerá en el laboratorio del Departamento de Farmacia Industrial. Este laboratorio pertenece a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Perteneciente a la muestra también hubieron almidones de maíz y de trigo, los que se obtuvieron en una empresa dedicada a comercializarlos; se añadió estos últimos a la muestra, ya que estos son los almidones que se utilizan comercialmente, y es contra estos que se comparó la capacidad viscosante del almidón de banano.

### 7.2 Materiales

#### 7.2.1 Recursos Humanos:

- Autor: Mauricio Ricardo Góngora Quevedo
- Asesor: Licenciado Julio Gerardo Chinchilla
- Revisora: Licenciada Lucrecia Martínez de Haase

### 7.2.2 Recursos Materiales

- Sistema de Agua Potable
- Estufa eléctrica
- Balanza
- Balanza de humedad
- Viscosímetro Brookfield
- Termómetro
- Calculadora
- Computadora con conexión a Internet
- Impresora
- 1 ml. De yodo – yoduro de Potasio
- 75 grs. De Hidróxido de Aluminio (compuesto a suspender)
- 500 ml. De Etilenglicol
- 0.5 kgs. de almidón de maíz
- 0.5 kgs. de almidón de trigo
- 3 beakers de 600 ml.
- 2 beakers de 50 ml.
- 5 tubos de ensayo
- 1 Probeta de 50 ml.
- 1 Probeta de 10 ml.
- Agitador de Vidrio
- Cuaderno de Apuntes
- Lapiceros
- Lápices
- Hojas de papel Bond
- Libros de Farmacia Industrial
- 5 kilogramos de banano verde

- Lavatrastos
- Rallador de cocina
- Paños de tela
- Agua Destilada
- Agua Potable

### 7.3 Métodos:

#### 7.3.1 Aislamiento del almidón de banano:

Se trabajó con un peso en banano verde de 4 kg., de los cuales se esperaba tener un rendimiento del 15% para recolectar alrededor de 600 gramos de almidón de banano. Antes de empezar a trabajar con la fruta, se revisó que la que se escogió para trabajar, sea la adecuada para lograr los objetivos que se han planteado, esto es referido al grado de maduración, calidad del banano, entre otros. La extracción del almidón del banano se hizo de acuerdo a los siguientes pasos: (Cervera, et.al., (2008), pág. 3)

- **Lavado:** El lavado de la fruta se hizo con abundante agua con el fin de retirar cualquier impureza propia del banano o de su lugar de origen, esto también permitió poder observar de forma clara la calidad de la fruta, y confirmar que la selección fue la correcta. (Cervera, et.al., (2008), pág. 3)
- **Descortezado:** Se realizó a mano, teniendo el cuidado de no retirar también parte de la pulpa con la cáscara, es en esta parte en donde se notan las proporciones reales de la fruta, es decir la relación en peso pulpa-cáscara. (Cervera, et.al., (2008), pág. 3)
- **Rallado:** Se hizo con el fin de desintegrar las células de la pulpa para dejar libre el almidón. La realización manual de este proceso dejó notar la alta viscosidad de esta mezcla de almidón, agua, fibra e impurezas. (Cervera, et.al., (2008), pág. 3)

- **Tamizado:** Consistió en colar la pulpa rallada previamente, lavándola con agua abundante, para separar el almidón de la fibra 10 ml H<sub>2</sub>O/g, en este caso el tamiz correspondió a un paño de tela, de porosidad mínima. El almidón fue arrastrado por el agua a través del paño y la fibra permaneció en éste, con la cual se logró separarlo. (Cervera, et.al., (2008), pág. 3)
- **Sedimentado:** Consistió en decantar la lechada que sale del paño de tela para separar los gránulos del agua. (Cervera, et.al., (2008), pág. 3)
- **Secado:** El almidón se dejó secar a temperatura ambiente por un periodo de 36 horas al ambiente para retirar la mayor cantidad de agua posible. (Cervera, et.al., (2008), pág. 3)

### 7.3.2 Prueba de Identificación

Para la identificación del almidón de banano como tal, se siguieron los siguientes pasos descritos en la USP 32:

- a. Se suspendió 1 gramo de la muestra de almidón de banano en 50 ml. De agua, se hirvió por un minuto y luego se dejó enfriar. Luego de lo anterior, se formó un mucílago delgado y nuboso. (USP 32 (2009), pág. 448)
- b. A 1 ml. Del mucílago formado, se le añadió 0.05 ml. De Yodo – Yoduro de Potasio. Se formó un color naranja – rojizo a azul oscuro, el cual desapareció al calentarlo. (USP 32 (2009), pág. 448)

### 7.3.3 Formulación de Suspensiones de Almidón:

Se formularon 5 suspensiones acuosas de 600 ml. Para cada uno de los tres almidones que se utilizaron en las pruebas, estos son el almidón de banano extraído, el de maíz y el de trigo, estos dos últimos sirvieron como controles para comparar el

almidón de banano. Las concentraciones a las que se prepararon las suspensiones fueron a 2.5%, 5%, 10%, 15 y 20%. (Bello, et.al., (2000), pág. 2)

#### 7.3.4 Medición del Volumen de Sedimentación

Se midió el volumen de sedimentación  $F$  a cada una de las suspensiones realizadas en el paso anterior, siguiendo la siguiente relación: (Troy, (2006), pág. 967)

$$F = \frac{V_u}{V_o}$$

Donde  $F$  es el volumen de sedimentación,  $V_u$  es el volumen de sedimento de la suspensión medida y  $V_o$  es el volumen total de la suspensión. Para esto, se verterá 50 ml., de la suspensión, en una probeta donde se dejara reposar la suspensión 5 minutos, para luego medir los volúmenes indicados y calcular el valor  $F$  de dicha relación. (Troy, (2006), pág. 968)

#### 7.3.5 Calibración del Viscosímetro Brookfield

Se determinó la incertidumbre y sesgo del viscosímetro Brookfield a utilizar, siguiendo el procedimiento de Calibración. (Trujillo, (2002))

Los viscosímetros Brookfield determinan la viscosidad de fluidos midiendo la fuerza necesaria para hacer girar un elemento inmerso (husillo) en el fluido de prueba. La calibración de los viscosímetros Brookfield incluye la determinación del factor  $F$ , definido por la ecuación: (Trujillo, (2002))

$$F = \frac{N_R}{L_R}$$

Donde  $F$  es el Factor de Calibración a obtener,  $L_R$  es la lectura de viscosidad dinámica en el viscosímetro cuando se usa un líquido de referencia a una velocidad, husillo y tamaño de muestra determinados; mientras  $N_R$  es la viscosidad real del

líquido que se está utilizando. El factor  $F$  es una constante para cada combinación husillo/velocidad del viscosímetro que se utiliza. (Trujillo, (2002))

Sustituyendo datos en la ecuación siguiente, según propiedades de fluidos y los principios en los que se basa la medición de viscosidad en un instrumento Brookfield, se tiene la siguiente ecuación, la cual dará como resultado el factor  $F$  de la calibración para el instrumento y la aguja en particular utilizada. (Trujillo, (2002))

$$F = \frac{N_{MR} - N_{MR} * U_R * \Delta T}{L_R}$$

Las variables mencionadas en la ecuación anterior se obtuvieron a partir de las siguientes mediciones: (Trujillo, (2002))

- $F$  es el factor de calibración que se está calculando.
- Líquido de Referencia ( $N_{MR}$ ): Todos los líquidos de referencia que se usan para calibraciones de viscosímetros Brookfield tienen un grado de incertidumbre medido experimentalmente por el fabricante. En el caso de la calibración del viscosímetro Brookfield que se utilizará en esta investigación se usará etilenglicol, debido a la imposibilidad en el país de Guatemala de conseguir estos líquidos de referencia. La incertidumbre particular para este líquido se investigará teóricamente. Esta incertidumbre se mide en milipascales (mPas) y se describe con la abreviatura  $N_{MR}$ . (Trujillo, (2002))
- Coeficiente térmico del líquido ( $U_R$ ): Es el coeficiente de temperatura de la viscosidad del líquido de referencia. Es decir, cuántos milipascales cambia la viscosidad del mismo cada vez que la temperatura cambia en un 1° C. (Trujillo, (2002))
- Lectura ( $L_r$ ): Es el promedio de las lecturas que ha dado el viscosímetro durante el número de repeticiones que se realizaron para calibrar el mismo.
- Temperatura ( $\Delta T$ ): La diferencia entre la temperatura a la que se llevará a cabo las mediciones de la viscosidad del almidón y la temperatura a la que serán medidas las viscosidades del líquido calibrante se denomina  $\Delta T$ . (Trujillo, (2002))

Todas las variables obtenidas se sustituyeron en la ecuación mencionada, con lo cual se obtuvo el factor F, el cual fue multiplicado a cada medición realizada en el viscosímetro Brookfield que se calibró, de esta manera se hizo un ajuste a las mediciones del viscosímetro, lo que las hizo más exactas. (Trujillo, (2002))

### 7.3.6 Medición de Viscosidad de las Suspensiones

Se procedió a medir la viscosidad de cada una de las suspensiones de prueba de los almidones de banano, maíz y trigo, siguiendo cada vez los siguientes pasos: (AMTEX, (2005), pág. 1)

- a. Se definió la concentración de la muestra a suspender a la que se le desea conocer la viscosidad (2.5%, 5%, 10%, 15% y 20%), la cual se refiere al contenido de 500 gramos de peso en solución. (AMTEX, (2005), pág. 1)
- b. Para determinar la cantidad de almidón a utilizar a cierta concentración se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$Q = \frac{C * S}{100}$$

Donde Q es la cantidad en peso de almidón que se utilizará. C es la concentración a la cual se preparará la suspensión y S es el peso total de la solución. (AMTEX, (2005), pág. 1)

- c. Se determinó la humedad del almidón a utilizar, con una termobalanza. [7] Para determinar la concentración en base seca se utilizará la siguiente fórmula:

$$M = \frac{Q}{(100 - \% \text{ Humedad})} * 100$$

Donde M es el peso del almidón en base seca, Q es la cantidad que se utilizó de almidón, obtenido en el paso 6.3.6b y el % de humedad es el resultado que se obtuvo al medir el porcentaje de humedad del almidón a utilizar, con la ayuda de una balanza de humedad. (AMTEX, (2005), pág. 2)

- d. El agua a utilizar se calculó de la siguiente forma:

$$V = 500 - M$$

Donde V es el volumen de agua en mililitros y M el peso del almidón en base seca. <sup>(23)</sup>

- e. Se colocó en un beacker de 600 ml., la cantidad de agua calculada en el punto 4 con ayuda de una probeta. Luego, se agregó a este mismo beacker la cantidad de almidón calculada en el punto 4. <sup>(AMTEX, (2005), pág. 2)</sup>
- f. Se agitó vigorosamente la mezcla anterior hasta que tuvo aspecto de una suspensión uniforme. Luego se ajustó la temperatura de la suspensión a 25°C. <sup>(AMTEX, (2005), pág. 3)</sup>
- g. Cuando la muestra estuvo completamente disuelta y se tuvo una temperatura de 25°C, se colocó en el viscosímetro seleccionando el spin y las rpm que indicó el viscosímetro para el rango de viscosidad que se espera para la suspensión a analizar, según la tabla del fabricante del viscosímetro Brookfield a utilizar. <sup>(AMTEX, (2005), pág. 3)</sup>
- h. Se introdujo la aguja (spin) en la muestra en forma inclinada para evitar que queden burbujas en la parte inferior, una vez dentro se centró de tal modo, que el oleaje que se produjo al girar fuera el mismo en todos los puntos alrededor del spin. Luego, se encendió el viscosímetro y se dejó que funcionara libremente de un mínimo de 30 segundos a un máximo de un minuto, en caso de que el dial pasara de 100, se apagó el viscosímetro, se colocó el spin inmediato superior y se procedió como en el comienzo de este punto. Al cabo de este tiempo, se oprimió la palanca para detener la escala y se anotó la lectura señalada en esta. <sup>(AMTEX, (2005), pág. 3)</sup>
- i. Se utilizó la siguiente formula donde se obtuvo la viscosidad en cps (centipoises), en base húmeda. <sup>(AMTEX, (2005), pág. 3)</sup>

Viscosidad a 25°C = (Lectura del instrumento) \* Factor de calibración.

### 7.3.7 Medición de Suspendibilidad de un sólido

Se agregó un sólido (1 gramo de Hidróxido de aluminio) a cada una de las suspensiones realizadas para la medición del volumen de sedimentación, para comprobar cual tenía mejor suspendibilidad por medio de una nueva medición del sedimento que formó al agregar el sólido mencionado (Troy, (2006), pág. 1015). La medición se hizo con la misma probeta que se utilizó para la medición del volumen de sedimentación de cada suspensión sola.

### 7.4 Análisis Estadístico:

En la prueba de Medición de Viscosidad de los almidones, existieron tres grupos de almidones a comparar: el grupo de almidón de banano, el de maíz y el de trigo. Cada uno de los almidones mencionados tuvo cinco suspensiones a concentraciones de almidón distintas. Por lo anterior, se tuvieron 15 tratamientos distintos de medición de viscosidad. Para cada uno de los 15 tratamientos se hizo un mínimo de 5 repeticiones para que los resultados sean confiables. (Santiago, (2002), pág. 318)

A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza ANDEVA, para un diseño factorial, en las cuales existieron diferencias significativas entre factores y sus combinaciones, por lo que se hizo la prueba de la mínima diferencia significativa de Fisher (LSD) para comparar las medias adyacentes de los datos estudiados y así tener una mejor idea de las relaciones significativas entre las viscosidades de los almidones utilizados. (Santiago, (2002), pág. 336)

## 8. Resultados

### **8.1 RESULTADOS DE LOS PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DE BANANOS VERDES INMADUROS OBTENIDOS EN UN MERCADO DE LAS INMEDIACIONES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tabla 8.1. Resultados, expresados en cantidad de almidón obtenido, de los procesos de extracción de almidón de banano, utilizando bananos verdes inmaduros

<b>Extracción</b>	<b>Cantidad</b>
1ª. Extracción	84 g.
2ª. Extracción	234 g.
<b>Total</b>	<b>318 g.</b>

Grafico 8.1. Cantidad de Almidón obtenido en las extracciones de almidón realizadas a partir de bananos verdes inmaduros.



## 8.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE IDENTIFICACIÓN QUE SE DESCRIBEN EN LA USP 32 PARA ALMIDÓN, REALIZADAS A LOS DISTINTOS TIPOS DE ALMIDÓN A UTILIZAR EN LAS PRUEBAS DE LA INVESTIGACIÓN.

Tabla 8.2. Resultados a la prueba de identificación de las muestras de almidón utilizadas, agregando Reactivo de Lugol a una suspensión de 1% de almidón y esperar un color azul oscuro – naranja, y posteriormente calentar la suspensión con Reactivo de Lugol esperando se pierda la coloración anterior mencionada al exponerlo a altas temperaturas.

Tipo de Almidón	Prueba con Lugol	Desaparición de color al calentarlo
Maíz	+	+
Trigo	+	+
Banano	+	+

### 8.3 MEDICION DE LOS VOLUMENES DE SEDIMENTACIÓN PRESENTADOS POR LAS SUSPENSIONES DE ALMIDÓN A DISTINTAS CONCENTRACIONES.

Tabla 8.3. Resultados de las mediciones de los volúmenes de sedimentación, después de 20 minutos desde que son realizadas las suspensiones, realizadas con los almidones a comparar, utilizando una probeta de 25 ml.

<b>Concentración</b>					
<b>Tipo de Almidón</b>	<b>2.50%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>
Maíz	1.5 ml	2 ml	5 ml	9 ml	16 ml
Trigo	1 ml	1.5 ml	9 ml	17 ml	36 ml
Banano	0.5 ml	1 ml	1.5 ml	2 ml	18 ml

Tabla 8.4. Resultados, expresados en porcentaje total de la suspensión, de las mediciones de los volúmenes de sedimentación, después de 20 minutos desde que son realizadas las suspensiones, realizadas con los almidones a comparar, utilizando una probeta de 25 ml.

<b>Concentración</b>						<b>Coficiente de Regresión lineal</b>
<b>Tipo de Almidón</b>	<b>2.50%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	
Maíz	3 %	4 %	10 %	18 %	32 %	<b>0.94</b>
Trigo	2 %	3 %	18 %	34 %	72 %	<b>0.92</b>
Banano	1 %	2 %	3 %	4 %	36 %	<b>0.62</b>

Grafico 8.2. Representación grafica de los volúmenes de sedimentación obtenidos con las suspensiones de cada almidón a diferentes concentraciones.

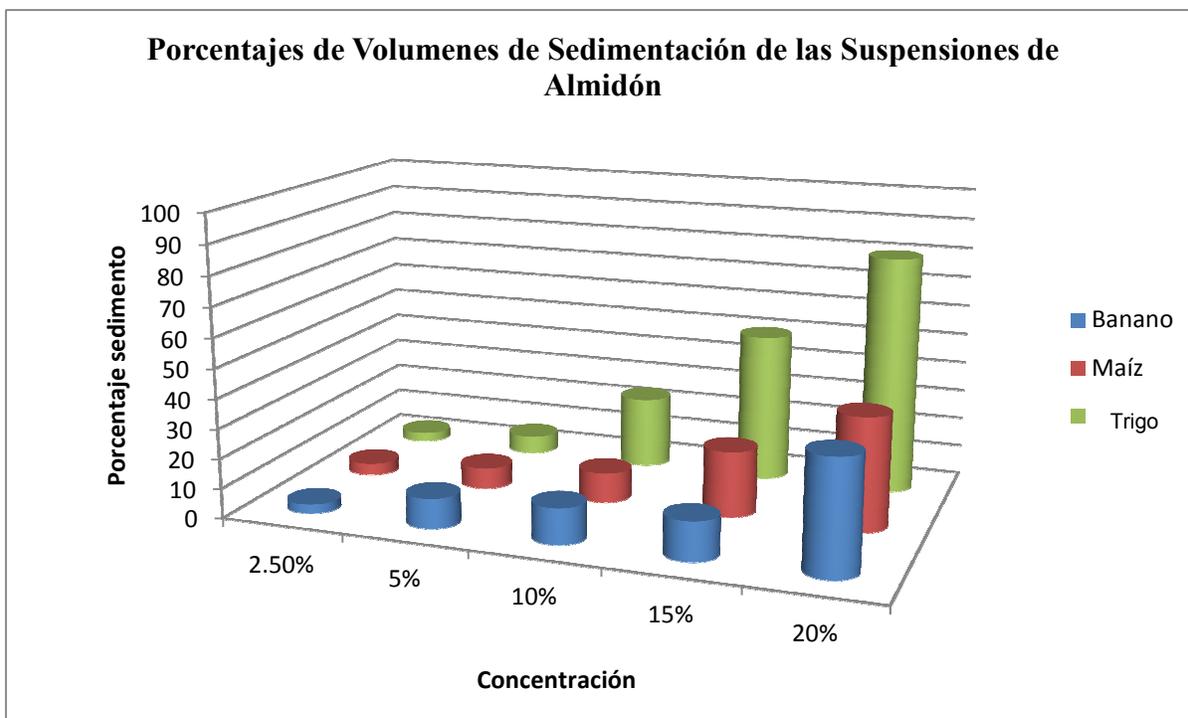


Tabla 8.5. Resultados de las mediciones de suspendibilidad, después de 20 minutos desde que son realizadas las suspensiones agregando, además de almidón, 2 gramos de Hidróxido de Aluminio como agente a suspender, para comparar la suspendibilidad de cada almidón y utilizando una probeta de 25 ml.

Concentración \ Tipo de Almidón	Concentración				
	2.50% + 2grs $\text{Al(OH)}_3$	5% + 2grs $\text{Al(OH)}_3$	10% + 2 grs $\text{Al(OH)}_3$	15% + 2grs $\text{Al(OH)}_3$	20% + 2grs $\text{Al(OH)}_3$
Maíz	2 ml	5 ml	5 ml	11 ml	18 ml
Trigo	1.5 ml	3 ml	12 ml	25 ml	40 ml
Banano	1.5 ml	5 ml	6 ml	6.5 ml	19 ml

Tabla 8.6. Resultados, expresados en porcentajes de las mediciones de suspendibilidad, después de 20 minutos desde que son realizadas las suspensiones agregando, además de almidón, 2 gramos de Hidróxido de Aluminio como agente a

suspender, para comparar la suspendibilidad de cada almidón y utilizando una probeta de 25 ml.

Concentración Tipo de Almidón	2.50%+ 2grs Al(OH) <sub>3</sub>	5%+ 2grs Al(OH) <sub>3</sub>	10% + 2 grs Al(OH) <sub>3</sub>	15% + 2grs Al(OH) <sub>3</sub>	20% +2grs Al(OH) <sub>3</sub>	Coefficiente de Correlación Lineal
Maíz	4 %	10 %	10 %	22 %	36 %	<b>0.91</b>
Trigo	3 %	6 %	24 %	50 %	80 %	<b>0.97</b>
Banano	3 %	10 %	12 %	13 %	38 %	<b>0.76</b>

Grafico 8.3. Representación grafica de la suspendibilidad obtenidos con las suspensiones de cada almidón a diferentes concentraciones, agregándoles luego 2 gramos de Hidróxido de Aluminio a cada una para la prueba de suspendibilidad de un solido.

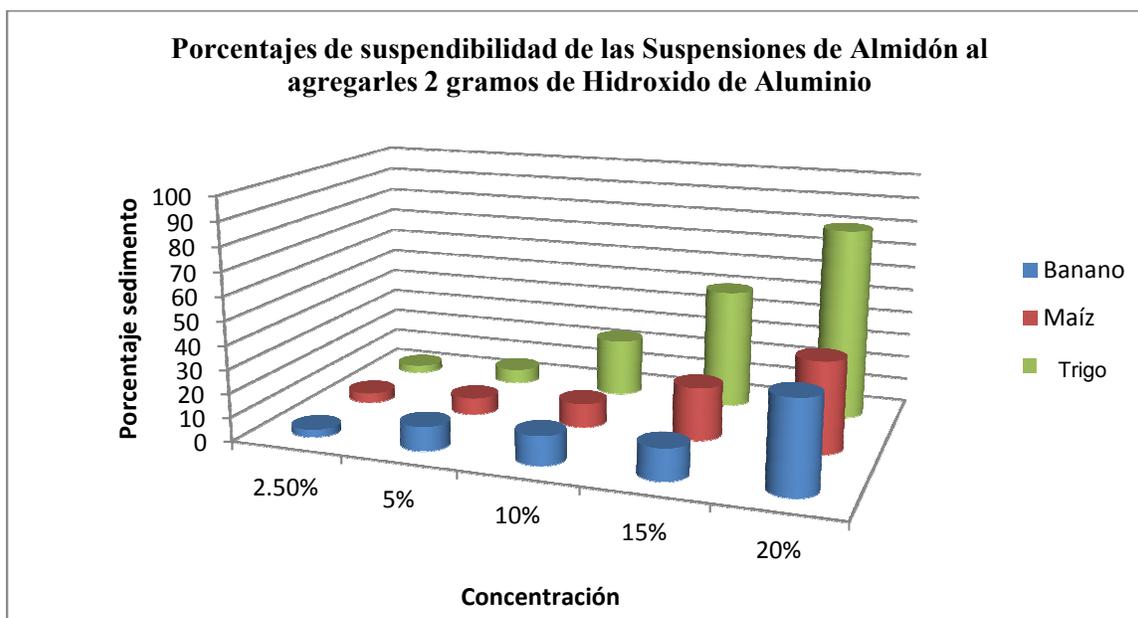


Grafico 8.4. Comparación en los volúmenes de sedimentación de las suspensiones de almidón de Maíz solas, y con el agente a suspender, Hidróxido de Aluminio.

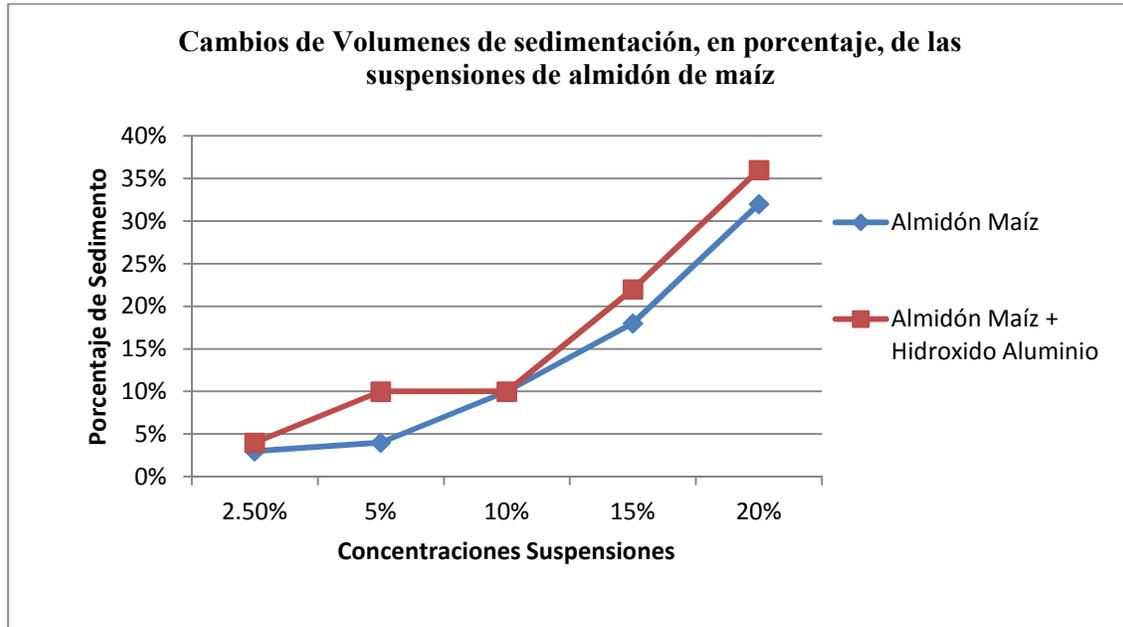


Grafico 8.5. Comparación en los volúmenes de sedimentación de las suspensiones de almidón de Trigo solas, y con el agente a suspender, Hidróxido de Aluminio.

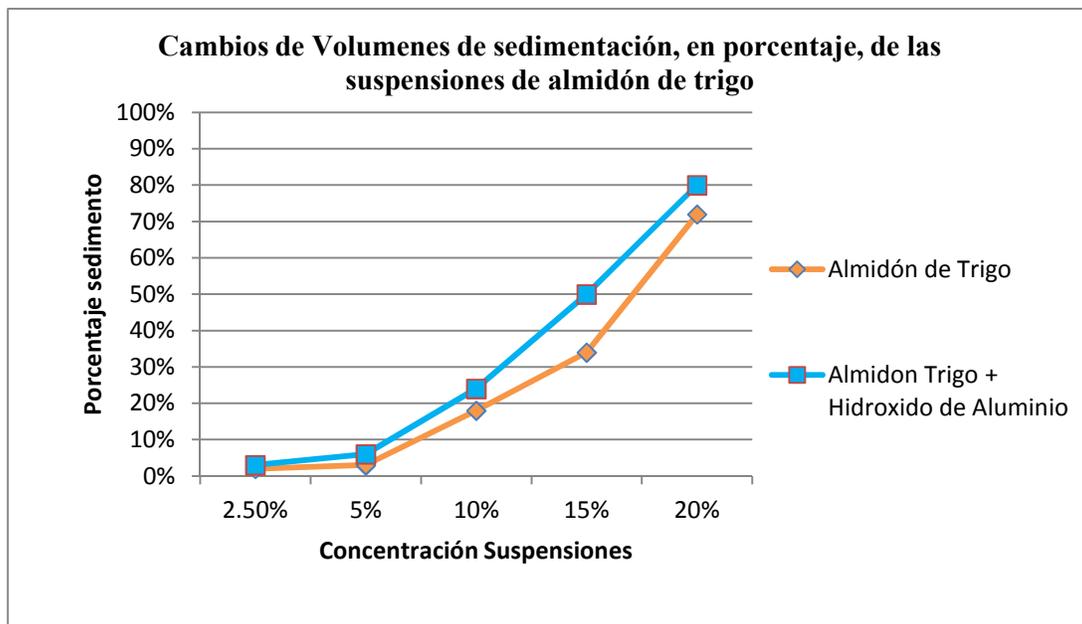
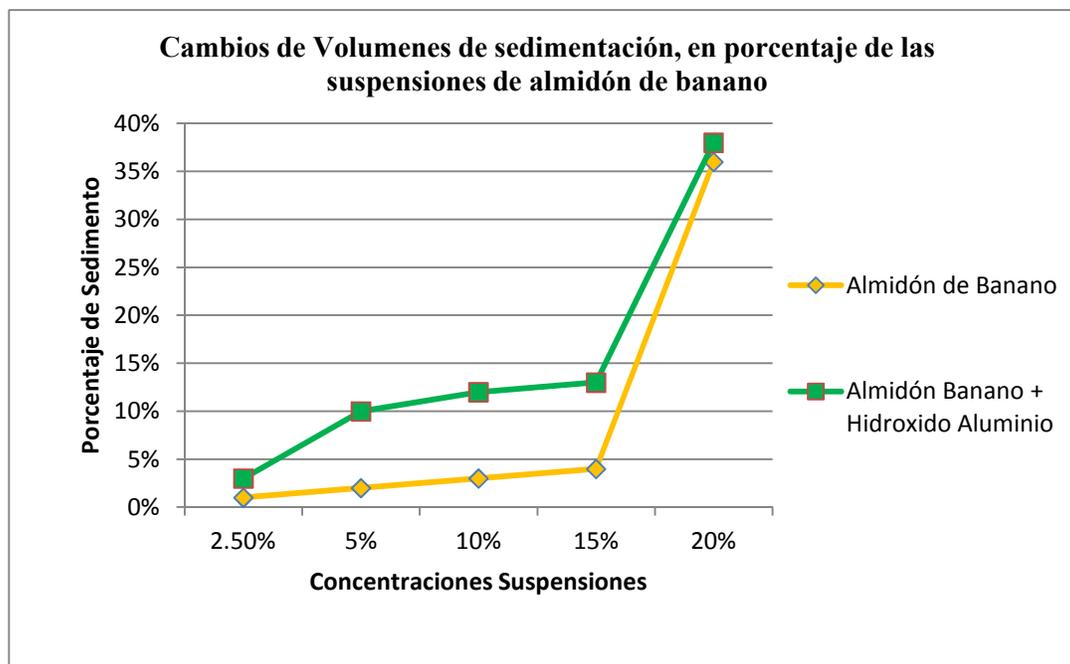


Grafico 8.6. Comparación en los volúmenes de sedimentación de las suspensiones de almidón de Banano solas, y con el agente a suspender, Hidróxido de Aluminio.



#### 8.4 RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES DE VISCOSIDAD DE CADA UNA DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDÓN, DE LOS 3 ALMIDONES ESTUDIADOS, UTILIZANDO UN VISCOSIMETRO BROOKFIELD MODELO LV PREVIAMENTE CALIBRADO.

Tabla 8.7. Resumen de resultados de mediciones de viscosidad de las suspensiones de los almidones utilizados, a las concentraciones de 2.5%, 5%, 10% y 15%. No se incluyen mediciones a concentraciones de 20%, dado que estas viscosidades resultaron ser muy altas para ser medibles.

Tipo de Almidon	Concentración	Viscosidad Maxima	Viscosidad Minima	Viscosidad Promedio
Trigo	2.50%	124.875	115.625	120.25
Maíz	2.50%	27.75	18.5	25.9
Banano	2.50%	69.375	46.25	64.75
Trigo	5%	388.5	388.5	388.5
Maíz	5%	640.9	566.95	596.53
Banano	5%	665.55	640.9	660.62
Trigo	10%	1443	1221	1332
Maíz	10%	1332	1332	1332
Banano	10%	16428	15540	15984
Trigo	15%	66600	64380	65268

Maíz	15%	23532	22200	22910.4
Banano	15%	210900	205350	208680

Grafico 8.7. Comparación de los promedios de las Viscosidades obtenidas con Viscosímetro Brookfield modelo LV, de las suspensiones de almidón de Maíz, Trigo y Banano a una concentración de 2.50%.

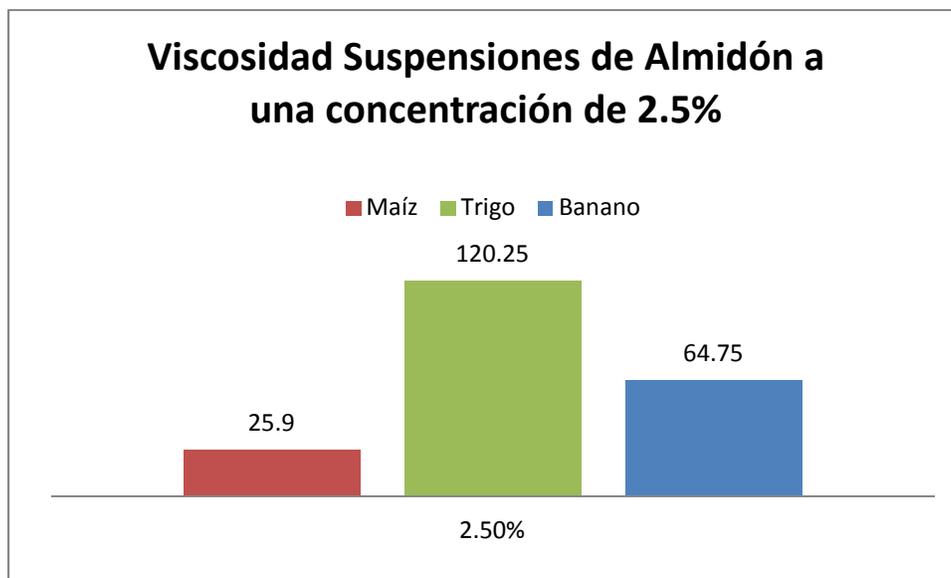


Grafico 8.8. Comparación de las Viscosidades obtenidas con Viscosímetro Brookfield modelo LV, de las suspensiones de almidón de Maíz, Trigo y Banano a una concentración de 5%.

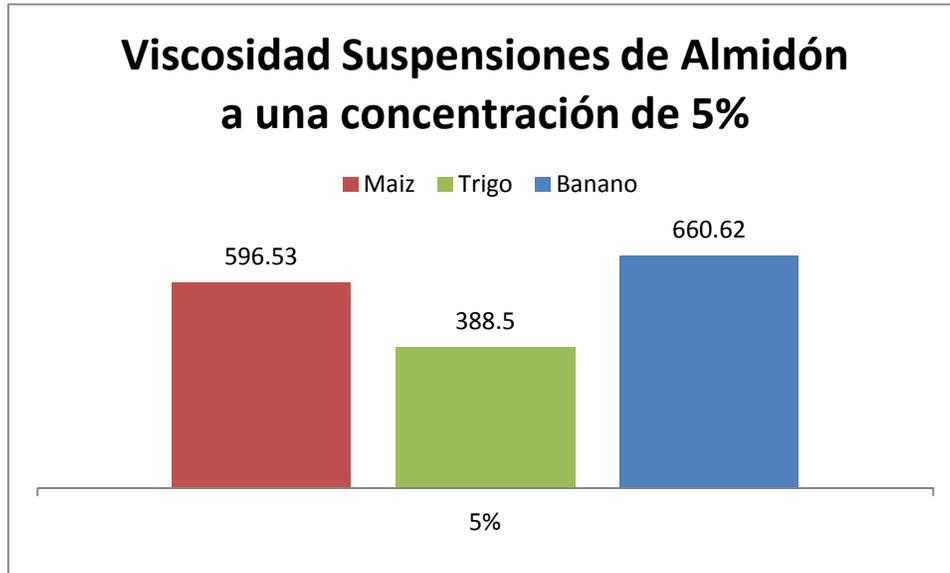


Grafico 8.9. Comparación de las Viscosidades obtenidas con Viscosímetro Brookfield modelo LV, de las suspensiones de almidón de Maíz, Trigo y Banano a una concentración de 10%.

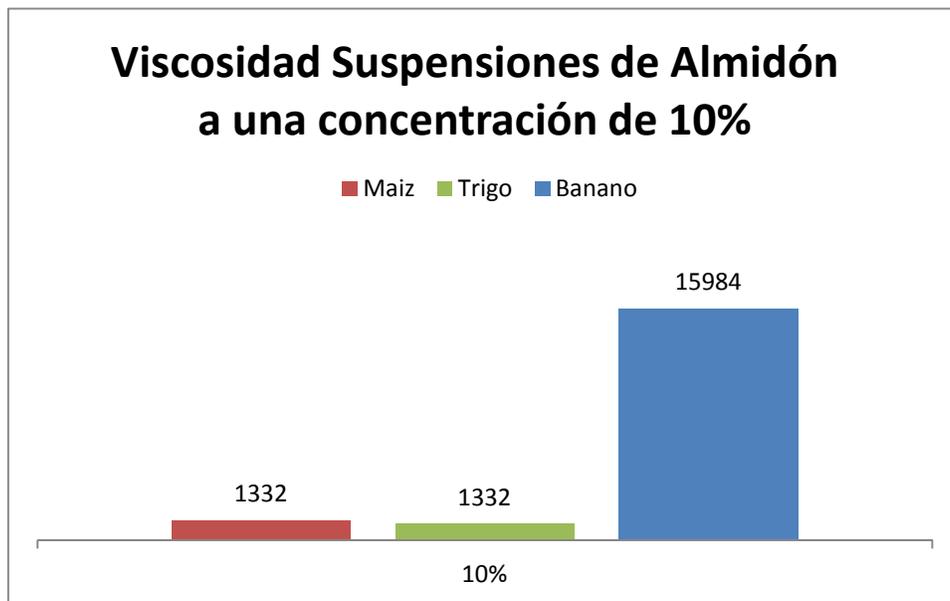
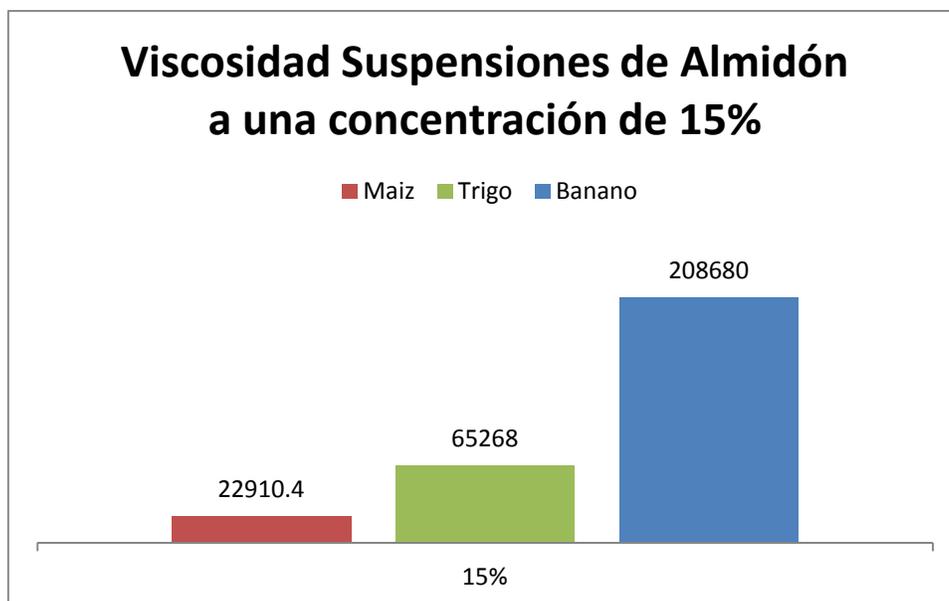


Grafico 8.10. Comparación de las Viscosidades obtenidas con Viscosímetro Brookfield modelo LV, de las suspensiones de almidón de Maíz, Trigo y Banano a una concentración de 15%.



### 8.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO REALIZADO A LOS RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE VISCOSIDAD DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDÓN TRABAJADAS

Tabla 8.8. Resumen de Resultados de la Prueba de análisis de varianza para el modelo factorial de las viscosidades de las suspensiones de almidón, utilizando la Tabla completa de resultados de viscosidad (ubicada en Anexos) como referencia, donde se utilizan las variables Concentración y Tipo de Almidón como variables independientes y la variable Viscosidad Corregida como variable dependiente.

Fuente	F	Significancia
Modelo corregido	19441.288	.000
CONCENTRACION	37414.065	.000
ALMIDÓN	14861.907	.000
CONCENTRACION* ALMIDÓN	11981.360	.000

R cuadrado = 1.000 (R cuadrado corregida = 1.000)

Tabla 8.9. Resultado de la Prueba de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher de las viscosidades de las suspensiones de almidón, utilizando la tabla 8 como referencia, para la variable Tipo de almidón, utilizando la variable Viscosidad como variable dependiente

(I)Tipo Almidón	(J)Tipo Almidón	Diferencia Entre Medias (I-J)	Error típico	Significación
Trigo	Maíz	10560.9800	306.57240	.000
Banano	Trigo	39570.1550	306.57240	.000
Banano	Maíz	50131.1350	306.57240	.000

La diferencia de medias es significativa al nivel .05 (a una cola)

Tabla 8.10. Promedios y Desviaciones Estandar de cada tipo de suspensión, según Concentraciones y tipo de almidón utilizado

Tipo de Almidón	Concentración	Promedio	Desviación Estándar
Banano	2.5%	64.75	10.34

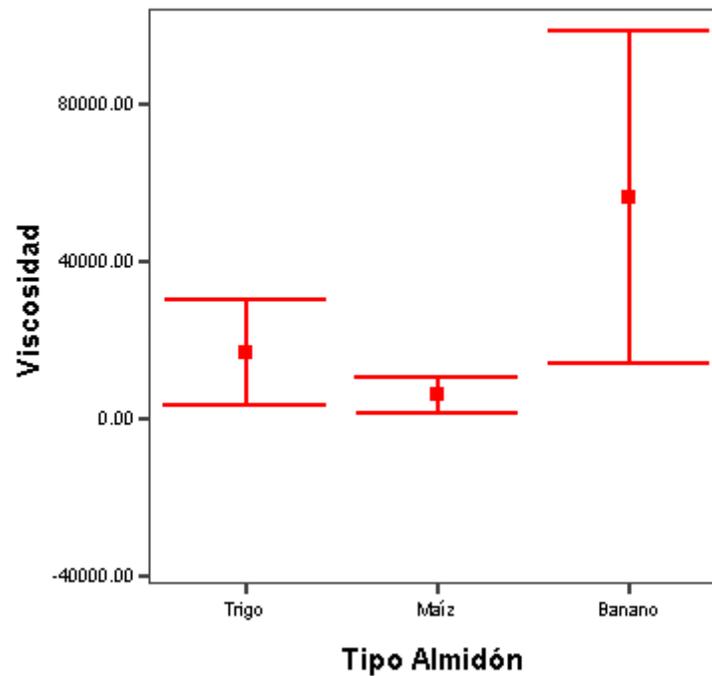
	5%	660.62	11.02
	10%	15984	444
	15%	208680	3039.86
Trigo	2.5%	120.25	3.27
	5%	388.50	0
	10%	1332	78.49
	15%	65268	1215.94
Maíz	2.5%	25.90	4.14
	5%	596.53	27.01
	10%	1332	0
	15%	22910.40	3039.86

Tabla 8.11. Promedios y Desviaciones Estandar generales de las suspensiones, sin importar la concentración de estas, realizadas con cada tipo de almidón.

Tipo de Almidón	Promedio	Desviación Estandar
Trigo	16777.19	28732.62
Maíz	6216.21	9903.97
Banano	56347.34	90482.23

Grafico 8.11. Representación grafica de barras de error para las mediciones de viscosidad de las suspensiones de almidón a las diferentes concentraciones trabajadas.

### **Barras de Error para variable Viscosidad**



### 9. Discusión de Resultados

La base de esta investigación es el almidón de banano, y dado que este tipo de almidón aún no se comercializa formalmente, se hizo necesario, antes de cualquier otra prueba la obtención de almidón de banano. Este almidón fue obtenido a partir de bananos verdes, es decir, bananos inmaduros, ya que es en este estado en el que estos frutos poseen el mayor porcentaje de almidón dentro de ellos (cerca de 70%). (Cervera, (2008), pág. 1) El método por el cual se extrajo almidón a partir de bananos verdes está descrito en la metodología de esta investigación.

Dado que los objetivos de esta investigación no dan importancia al rendimiento del proceso de obtención de almidón de banano, no se tomó en cuenta el peso de los bananos que eran sometidos a extracción en los dos procesos en los que se obtuvo almidón, sino

únicamente que el almidón extraído fuese suficiente para poder realizar todas las pruebas que en la metodología se contemplaron. Por lo tanto, se fijó como meta extraer no menos de 275 gramos de almidón de banano. Como puede verse en la Tabla 8.1 se realizaron dos extracciones, la primera produjo 84 gramos de almidón de banano y la segunda 234 gramos de almidón de banano, estas cantidades eran de esperarse ya que la primera extracción se realizó con una cantidad pequeña de bananos pues sirvió de prueba para luego repetir el proceso con una cantidad grande de estos, al haber adquirido experiencia y destreza con el primer proceso de extracción. Al final se extrajeron 318 gramos de almidón, con lo cual se cubría la cantidad necesaria de este para realizar todas las pruebas que se harían más adelante. (Tabla 8.1 y Grafico 8.1)

Luego de extraer almidón de banano, se adquirieron los almidones que se utilizan comercialmente, es decir, el almidón de maíz y el de trigo. Estos fueron comprados a una empresa proveedora que fabrica estos productos, entre otros, en el mercado nacional y que provee regularmente a muchas empresas farmacéuticas y alimenticias nacionales que utilizan estos almidones.

Al tener las cantidades necesarias de cada uno de los almidones a utilizar para realizar las pruebas, se dio paso a realizar la prueba de identificación de almidón que se indica en la Farmacopea de los Estados Unidos número 32, a cada uno de los almidones. El objetivo de esto era el comprobar en primer lugar, el contenido de almidón en el producto extraído de los bananos verdes, a la vez que también comprobar esto mismo en los productos obtenidos del proveedor mencionado, almidón de maíz y almidón de trigo.

Los resultados de las pruebas de identificación se encuentran en la Tabla 8.2, y en esta se puede observar que los tres almidones cumplieron con las dos fases de que consta esta prueba, descrita en la metodología de esta investigación, por lo cual se da por sentado que los tres productos examinados en la prueba contienen almidón aunque provengan de tres plantas distintas.

Al haber identificado los almidones se procedió a comprobar la calidad de las suspensiones que estos productos forman en agua. Esto se hace para apoyar, junto con los resultados de viscosidad, una teoría que nos permita concluir la capacidad viscosante del almidón de

banano comparado con los almidones que se utilizan comercialmente, dado que en el caso que su perfil de viscosidad sea más ventajoso que el de los demás, se necesita verificar la estabilidad de la suspensión que forma, porque si este tipo de almidón no se mantiene en suspensión por mucho tiempo, sus suspensiones serán inestables, sedimentaran en un tiempo más corto que las suspensiones de almidón de maíz o de trigo y por lo tanto no sería recomendable como sustituto de los anteriormente mencionados. El método en el que se midió los volúmenes de sedimentación se encuentra descrito en el método de investigación.

Los resultados de los volúmenes de sedimentación se pueden observar en las Tablas 8.3 y 8.4, en estas se observa como aumentan los volúmenes de sedimentación de cada una de las suspensiones, y se ve como algunas aumentan significativamente más que otras. En el caso de las suspensiones con almidón de maíz, se aprecia que a la concentración más pequeña que se trabajo, (2.50%) el volumen de sedimentación es de 3% del total del volumen de la suspensión y este crece conforme se incrementa la concentración, hasta que se llega a la concentración más alta (20%) donde el volumen de sedimentación es de 32% del total del volumen de la suspensión. Al analizar las suspensiones de almidón de trigo, se puede ver que a la concentración más pequeña (2.50%) el volumen de sedimentación fue de 2% del volumen total de la suspensión, y crece conforme aumenta la concentración hasta la concentración más alta (20%) donde fue de 72% del volumen de la suspensión. De igual manera, en las suspensiones con almidón de banano, el volumen de sedimentación en la concentración más pequeña (2.50%) fue de 1% del volumen de la suspensión, y crece conforme al aumento de concentración, hasta la concentración mayor (20%) donde se obtuvo un volumen de sedimentación de 36% (Tabla 8.4).

Si se observa la Tabla 8.4, aún cuando los volúmenes de sedimentación aumentan conforme aumenta la concentración, en ninguno de estos almidones los volúmenes de sedimentación crecen linealmente con el aumento de las concentraciones de almidón. Los coeficientes de correlación presentados (Tabla 8.4) nos señalan que el almidón que presenta un patrón más lineal de crecimiento de volumen de sedimentación versus concentración de almidón es el almidón de maíz con un coeficiente de correlación lineal de 0.94, y por lo tanto es el más predecible en cuanto a que cantidad de volumen de sedimentación esperar a una

concentración de almidón dada. El almidón de trigo sigue muy de cerca la linealidad que presentan las suspensiones de almidón de maíz, ya que las de trigo tienen un coeficiente de 0.92, mientras que las suspensiones de almidón de banano presentan una pobre linealidad con tan solo 0.62 de coeficiente de regresión lineal.

Aún así, esta linealidad no lo es todo, porque aunque el almidón de trigo presenta una linealidad considerable (0.92) resulta ser muy pobre en cuanto a estabilidad en suspensión ya que al revisar las cantidades de los volúmenes de sus sedimentos, alcanza incluso un 34% de sedimentación en la segunda concentración más alta de almidón (15%) cuando el almidón de maíz no rebasa esa cifra ni siquiera en la concentración más alta (32% de sedimento, en una concentración de 20% de almidón) y el almidón de banano apenas tiene un 36% de sedimentación en la concentración más alta. En la concentración más alta el almidón de trigo tiene un 72% de volumen de sedimentación a esta concentración. Por lo tanto, el almidón de trigo tiene una muy baja estabilidad en agua y no es muy recomendable utilizarlo para suspensiones acuosas.

En cuanto a los almidones de maíz y de banano, se ve que el almidón de maíz mantiene la linealidad del aumento de sus sedimentos respecto al aumento de la concentración de almidón, el dato más importante que se observa en esta tabla es que el almidón de banano presenta volúmenes de sedimentación muy bajos en 4 de sus 5 suspensiones. En la segunda concentración más alta de almidón, la suspensión de almidón de maíz forma un 18% de volumen de sedimentos, mientras que la suspensión con almidón de banano apenas forma un 4% de sedimentos del total del volumen de la suspensión y aunque en la concentración más alta (20%) el almidón de banano forma un porcentaje de sedimentos más alto que el que presenta el maíz, el de banano mantiene una estabilidad muy importante en las primeras cuatro suspensiones realizadas. Además, hay que agregar a lo anterior que el almidón de banano solo forma cantidades considerables de sedimento cuando su concentración de almidón es del 20% del volumen de la suspensión, pero rara vez veremos un producto farmacéutico y/o alimenticio que siendo una suspensión acuosa necesite tal cantidad de almidón, ya que a la fecha, no hay ninguna patente en la Oficina Federal de Patentes y Marcas de los Estados Unidos <sup>(Unites States Patent and Trademark Office, 23/02/2011)</sup> que sea un producto líquido y registre esa cantidad de almidón en su fórmula. Por todo lo descrito

anteriormente se puede concluir que el mejor agente en suspensión, es decir el que presenta mayor estabilidad al estar suspendido en agua y por lo tanto tiene el mejor perfil de volumen de sedimentación es el almidón de banano.

En el mismo orden de los volúmenes de sedimentación, se hizo necesario verificar la capacidad suspensora de los tres almidones trabajados. La capacidad suspensora es la capacidad de una suspensión que tiene esta para mantener en suspensión cierta cantidad de un sólido dado (Aulton, (2004), pág. 59). Para medir esto, se agregó una cantidad fija (2 g.) de Hidróxido de Aluminio, un sólido insoluble en agua, a cada una de las suspensiones a las cuales se les había medido el volumen de sedimentación para luego comparar la cantidad de sedimentos que formaban con este sólido suspendido y así ver que tipo de almidón podía mantener en suspensión una mayor cantidad del sólido y por ende tener la mayor capacidad suspensora de Hidróxido de Aluminio.

Los resultados de las suspensiones de almidón con Hidróxido de Aluminio se pueden apreciar en la tabla 8.6 y en el gráfico 8.4, en las cuales también se añade el volumen de correlación que presentan estas suspensiones con el sólido agregado. Al comparar las diferencias entre los coeficientes de correlación que presentaron las suspensiones solas con los coeficientes que presentaron las suspensiones con el sólido agregado no varían mucho, los almidones de trigo y de maíz siguen aumentando, en ambos casos, en manera casi lineal sus volúmenes de sedimentación conforme aumenta la cantidad de almidón añadido a la suspensión, mientras que el almidón de banano, igualmente en ambos casos, aumenta de forma irregular y poco línea conforme aumenta la concentración de almidón en suspensión. Por lo tanto, no se puede sacar una conclusión directa con solo observar la Tabla 8.6, pero los gráficos 8.4, 8.5 y 8.6 son bastante reveladores.

En el gráfico 8.4 se detalla como cambian los volúmenes de sedimentación de las suspensiones de almidón de maíz con y sin Hidróxido de Aluminio como agente a suspender y por lo que en este gráfico se ve, el almidón de maíz forma una suspensión muy estable incluso con el sólido a suspender agregado, especialmente si se enfoca la atención en las suspensiones con Hidróxido de Aluminio a las concentraciones de 5% y 10% de almidón de maíz donde el volumen de sedimentos se mantiene igual y no cambia, lo que evidencia que las suspensiones de almidón de maíz entre 5% y 10% de concentración de

este, tienen una capacidad suspensora muy grande. Analizando el resto de la grafica se observa que aún si las suspensiones con Hidróxido de Aluminio sedimentan un mayor volumen que las suspensiones que no lo contienen, la diferencia no es muy grande y es por esto que las líneas que representan a cada uno de los conjuntos de suspensiones se mantienen muy cerca la una de la otra incluso en la concentración de almidón más alta (20%).

En el grafico 8.5 se observa el cambio de los volúmenes de sedimentación de las suspensiones de almidón de trigo, con y sin el agente a suspender. Como se ve en este grafico, las suspensiones de almidón de trigo son capaces de suspender muy bien al Hidróxido de Aluminio, desde las concentraciones de 2.5% hasta la de 10% de almidón, donde el cambio del volumen de sedimentos entre las suspensiones sin este agente a suspender y las que si lo tienen es muy leve. Pero luego, en las suspensiones de las concentraciones de 15% y 20% el cambio es mucho más grande, especialmente en la primera citada donde el cambio entre las suspensiones a esta concentración comparadas con las de 10% es más del doble.

Por último, el grafico 8.6 muestra el cambio de los volúmenes de sedimentación de las suspensiones de almidón de banano, con y sin el agente a suspender. Este grafico es muy distinto a los observados con el almidón de trigo y el de maíz, porque a diferencia de estos, los cambios en las suspensiones de almidón banano con el agente a suspender son muy grandes y marcados. En las únicas suspensiones donde el cambio entre la que contiene al Hidróxido de Aluminio con la que no lo contiene no es tan grande, es en la concentración más baja (2.5%) y en la concentración más alta (20%), pero en las concentraciones intermedias, el cambio del volumen de sedimentos prácticamente se triplica cuando se agrega el agente a suspender. Por lo descrito anteriormente, se puede decir que el almidón de banano tiene una capacidad suspensora muy baja de Hidróxido de Aluminio en una suspensión acuosa, y por lo tanto no es muy recomendable utilizar este tipo de almidón para suspender un solido, especialmente cuando se ha visto la gran capacidad suspensora del almidón de maíz y del almidón de trigo.

Cabe mencionar que en las suspensiones que contienen el agente a suspender, Hidróxido de Aluminio no se puede medir su volumen de sedimentación, restarlo del que presentan las

suspensiones sin este agente, y decir que la diferencia entre el uno y el otro representa únicamente al Hidróxido de Aluminio que ha precipitado. Es cierto que gran parte de esta diferencia es este agente a suspender, pero también es en cierta parte el mismo almidón que sedimenta en mayor cantidad al haber un sólido pesado e insoluble como el Hidróxido de Aluminio. Lo anterior se explica de la siguiente manera, al haber más sólido que solo el propio almidón, el agua del medio que se encuentra en la probeta en la que se mide los volúmenes de suspensión tiene más moléculas que rodear y por lo tanto, hay menos moléculas de agua con las cuales el almidón puede interactuar y por ende sedimentan <sup>(Troy, (2006), pág. 953)</sup>. Siendo de esta manera, el Hidróxido de Aluminio no solo forma un precipitado en la suspensión sino que provoca una mayor precipitación del mismo almidón, por eso es que es posible que 2 gramos de Hidróxido de Aluminio provoquen por ejemplo un aumento mucho más grande en la suspensión que únicamente 2 gramos más de precipitado de diferencia entre la suspensión que no lo contiene y la suspensión a la que es agregado.

Para empezar a medir las viscosidades de las suspensiones con el Viscosímetro Brookfield LV, primero fue necesario el calibrar cada una de las agujas de este Viscosímetro que serían utilizadas para las mediciones de viscosidad. El proceso por el cual se hace esto, es medir la viscosidad de un líquido con viscosidad constante y conocida, en este caso se utilizó Propilenglicol USP al 83%, y medir su viscosidad con cada una de las agujas y comparar el resultado que se observa en cada una. Siendo el líquido mencionado de viscosidad conocida (110 cps), y teniendo el valor de la lectura que ha dado cada una de las agujas se dividió la viscosidad conocida sobre la viscosidad leída en el viscosímetro para una aguja dada y así se consiguió su factor de corrección. Se hizo lo anterior para cada una de las 4 agujas a utilizar, obteniendo el factor de corrección para cada aguja y así poder multiplicar cada resultado leído en el viscosímetro, multiplicarlo por el factor de corrección para la aguja que se utilizó y así obtener una lectura confiable. Este método de calibración se explica con más detalle en la metodología de la investigación. Los resultados obtenidos para la calibración del instrumento se encuentran en la sección de Anexos.

En la tabla 8.7 se encuentran resumidos los resultados obtenidos de las mediciones de viscosidad que se realizaron a las diferentes suspensiones de almidón que se trabajaron en esta investigación. Los resultados completos se encuentran en la sección de Anexos en el

Anexo 2. Cabe mencionar que para cada medición se obtuvo un dato de viscosidad, al cual se le llamo “Viscosidad aparente”, el cual al ser multiplicado por el factor de corrección correspondiente a la aguja utilizada en cada ocasión daba un valor de viscosidad con el error de instrumento corregido, por lo que a este último dato se le llamo “Viscosidad corregida” y es este último el que se tomó en cada ocasión como el dato de viscosidad verdadero. Todo lo descrito anteriormente se encuentra en la tabla del Anexo 2, la tabla 8.7 resume estos datos y para dar la idea que se necesita de la viscosidad medida en cualquier combinación de tipo de almidón y concentración del mismo se incluyó en esta tabla los datos de Viscosidad máxima o el dato mayor que dio cualquiera de las cinco repeticiones que se realizaron con cada combinación de tipo de almidón y concentración, así como el segundo dato “Viscosidad mínima” es el dato menor de estas repeticiones y el último siendo “Viscosidad Promedio” el cual es el promedio de estas repeticiones.

Como puede verse en la tabla 8.7, no hay resultados de las viscosidades medidas a las suspensiones de concentración 20% de ninguno de los tipos de almidón utilizados, esto es porque los tres tipos de almidón forman suspensiones demasiado viscosas a esta concentración como para ser medidas con el Viscosímetro Brookfield LV. Incluso a 15% los tres almidones forman suspensiones en agua demasiado viscosas como para ser útiles en la práctica industrial, poco recomendables para utilizarse en la industria alimenticia, por su alta viscosidad, pero a esta concentración el viscosímetro Brookfield aún pudo medir sus viscosidades, quedando el almidón de banano a una concentración de 15% como la suspensión más viscosa medida, con un resultado final de 210,900 cps, lo cual es una viscosidad demasiado elevada para la mayoría de productos que pueden fabricarse con almidón como viscosante. Por esto, se excluyeron las suspensiones de almidón de 20% de las mediciones de viscosidad, quedando las suspensiones de 15% como las suspensiones con concentración más elevada.

Los Gráficos 8.7, 8.8, 8.9 y 8.10 muestran las comparaciones de los resultados de viscosidades promedio. De las mediciones que se le hicieron a cada una de las suspensiones de almidón y se agrupan por la variable concentración. Es así como en el Gráfico 8.7, se observan las comparaciones de viscosidad de las suspensiones de los tres almidones a la

concentración de 2.5%. En este Grafico, se observa que a esta concentración, el almidón de trigo forma la suspensión más viscosa (120.25 cps.) de los tres almidones utilizados, seguido por el almidón de banano (64.75 cps.) y el almidón de maíz (25.9 cps.), el cual forma la suspensión menos viscosa de los tres almidones utilizados.

Mientras, en el Grafico 8.8, se comparan las viscosidades que presentan las suspensiones de almidón a la concentración de 5%. En este se ve como el almidón de banano aumenta considerablemente la viscosidad que presenta a la concentración anterior y se posiciona como el almidón que presenta la viscosidad más alta (660.62 cps.) de los tres almidones a esta concentración, seguido por el almidón de maíz (596.53 cps.), el cual es solamente un tanto menor a la viscosidad que presenta el almidón de banano. Por ultimo, el almidón de trigo que en la concentración de 2.5% presentaba la suspensión más viscosa, en la concentración de 5% presenta la menos viscosa (388.50 cps.), ya que no aumenta tanto su viscosidad a esta concentración como lo hicieron los almidones de maíz y el de trigo.

Las comparaciones de las viscosidades al 10% se pueden observar en el Grafico 8.9. En este se nota claramente la gran ventaja de viscosidad que el almidón de banano obtiene a esta concentración, sobre los almidones de maíz y de trigo, los cuales presenta un valor de viscosidad prácticamente similar. Por otro lado, en el Grafico 8.10, se observa las comparaciones de viscosidad a la concentración más alta de viscosidad a la que se llevaron a cabo las mediciones (15%). En esta, el almidón de banano mantiene su preponderancia como el almidón que produce una suspensión más viscosa, y se mantiene alejado de los otros almidones. Para poner las comparaciones en contexto, las diferencias entre la gran viscosidad que presenta el almidón de banano son tales que aun cuando el almidón de trigo, tiene una viscosidad casi 3 veces más alta que la del maíz, es más de 3 veces menos viscoso que el almidón de banano.

Antes de llegar a una conclusión acerca de las viscosidades del almidón de banano y de los almidones utilizados comercialmente, se hace necesario revisar el análisis estadístico que se realizó a los datos de viscosidad. En la tabla 8.8 se aprecia un resumen del resultado del Análisis de Varianza para un diseño factorial realizado con los datos de las mediciones de viscosidad de las suspensiones de almidón utilizando para el caso el programa estadístico SPSS versión 11.5 en español, el cual devuelve, entre otros, los resultados que en esta tabla

se ven. La tabla completa de Analisis de Varianza que devuelve este programa se encuentra en la sección de Anexos.

La primera fila de resultados que se encuentra en esta tabla (Tabla 8.8), es la de modelo corregido, este parámetro indica el resultado para un modelo de regresión realizado de los datos que se han hecho para la variable dependiente (Viscosidad), lo que nos interesa sobre este dato es la Significación la cual nos indica que es estadísticamente significativa <sup>(Webster, (2000), pág. 219)</sup> (dado que  $F = 0.000 < 0.05$ , porque para un nivel de confianza de 95% para tener validez el parámetro, su significación debe ser menor a 0.05) y dado que el R de la regresión (el cual se encuentra debajo de esta tabla) ha dado un valor de 1.00, los efectos provocados por las variables CONCENTRACIÓN, ALMIDÓN y la Interacción CONCENTRACIÓN\*ALMIDÓN explican el 100% de la varianza que sufre la variable dependiente (VISCOSIDAD).

Por otro lado, el siguiente parámetro es el de CONCENTRACIÓN, este indica que efecto tuvo la concentración de las suspensiones en la varianza de los resultados de la variable dependiente (VISCOSIDAD) <sup>(Webster, (2000), pág. 219)</sup>. Como se puede ver el valor de la significación de la variable CONCENTRACIÓN es menor a 0.05 ( $F = 0.000 < 0.05$ ) por lo que se puede afirmar estadísticamente que la Concentración de las suspensiones afecta a la varianza de las viscosidades y debe ser tomada en cuenta al aceptar o rechazar la hipótesis de la investigación

Luego tenemos el parámetro ALMIDÓN, este representa el efecto que tuvo el tipo de almidón sobre la varianza que presenta la variable dependiente (VISCOSIDAD) <sup>(Webster, (2000), pág. 219)</sup>. La significación de este parámetro es también menor a 0.05, habiendo una diferencia muy significativa ya que este valor es menor a 0.0001 lo que indica la relevancia de este parámetro para la aceptación de la hipótesis del estudio. ( $F = 0.000 < 0.05$ ). Lo anterior quiere decir que el tipo de almidón afecta estadísticamente la varianza de las mediciones de viscosidad, y es esto precisamente, uno de los parámetros que se esperaba se manifestaran de esta manera para afirmar que el almidón de banano es un mejor agente viscosante que los almidones de maíz y de trigo, ya que como se ha visto en los resultados de las mediciones de viscosidad (Tabla 8.7 y Gráficos 8.7, 8.8, 8.9 y 8.10) el almidón de banano tiene una mayor viscosidad en la mayoría de las concentraciones que se trabajaron

comparado con los otros almidones lo que los hace estadísticamente significativos en este parámetro. Se puede afirmar que el almidón de banano es un mejor agente viscosante que los almidones utilizados comercialmente, al tener una mayor viscosidad que los otros almidones utilizando para todos la misma cantidad de almidón en suspensión. Cabe analizar también los grados de libertad que presenta esta variable (ver Tabla completa de Análisis de Varianza, Anexo 3), que son un estimador de la cantidad de categorías independientes necesarias para que tenga validez un experimento estadístico (Webster, (2000), pág. 219), lo anterior quiere decir que este nos señala cuantas repeticiones de cada elemento analizado deben existir para que el parámetro sea confiable. Como podemos ver este parámetro señala 3 grados de libertad y dado que en esta investigación se realizaron 5 repeticiones para cada elemento medido de viscosidad, este parámetro es confiable y puede utilizarse para aceptar la hipótesis del estudio la cual dice que el almidón de banano es un mejor agente viscosante que los almidones utilizados comercialmente.

El siguiente parámetro es el que analiza la variable CONCENTRACIÓN, y como se ve en la significación de este parámetro ( $F = 0.000 < 0.05$ ) es estadísticamente significativo para explicar las varianzas que sufre la viscosidad, es decir, la variable dependiente VISCOSIDAD. Es de esperar, dado que se puede apreciar en la Tabla 8.8, que para un mismo tipo de almidón al aumentar la concentración del mismo, aumenta la viscosidad de su suspensión. Este parámetro señala 2 grados de libertad, y como se ha explicado anteriormente al haber 5 repeticiones de cada elemento, este parámetro también es confiable y puede utilizarse para aceptar la hipótesis.

La Tabla 8.8 también analiza la interacción que hay entre ALMIDÓN y CONCENTRACIÓN. Esta describe el nivel de significado que tiene, para este modelo estadístico, la conjugación de los tipos de almidones y los valores de concentración y analiza como una variable afecta considerablemente el valor de la otra y que conjugadas pueden ser, o no, efectos considerables sobre la variable dependiente, VISCOSIDAD (Webster, (2000), pág. 219-220). En este caso, la interacción es significativa ya que su significación así lo describe ( $F = 0.000 < 0.05$ ). Lo que quiere decir que las variables interactúan entre sí para afectar la varianza de la viscosidad en esta investigación.

Dado que las variables ALMIDÓN Y CONCENTRACIÓN afectaron significativamente la variable dependiente VISCOSIDAD, se hizo necesario realizar la prueba de la diferencia mínima significativa de Fisher a los resultados del tipo de almidón para analizar las medias de los grupos y constatar si estos al ser comparados uno a uno son significativamente distintos entre ellos. Los resultados de esta prueba se encuentran en la Tabla 8.9 y cabe mencionar con antelación que la columna a considerar es la que recoge la significación de cada análisis ya que de esta ser menor que 0.05 (este factor tiene este valor, al ser el nivel de confianza de 95%) los grupos que contienen las medias en dicha fila serán significativamente distintos (Cáceres, (1995), pág. 194-196 ). Como puede verse, entonces, se analiza primero el almidón de Trigo contra el almidón de Maíz siendo la significación igual a 0.000 lo cual es menor a 0.05 por lo que podemos decir que las viscosidades presentadas por las suspensiones de trigo son significativamente distintas a aquellas presentadas por el almidón de maíz y al ser la diferencia de éstas positiva (como puede verse la diferencia de medias) se puede decir que el almidón de trigo tiene una viscosidad mayor a la que presenta el almidón de maíz. Cabe mencionar, como explicación de estos resultados que si la diferencia de medias hubiera dado un dato negativo, la interpretación hubiera sido al contrario, concluyendo que en ese caso la viscosidad del maíz sería mayor que la del almidón de trigo. De igual forma, en la siguiente fila de la Tabla 8.9, se analiza la comparación de las viscosidades de las suspensiones hechas con almidón de banano y las hechas con almidón de trigo, en esta se puede ver también que la significación es menor a 0.05 (el dato es 0.000) por lo tanto, las viscosidades de ambos tipos de almidón son significativamente distintas. Ahora al ver que la diferencia de las medias es un dato positivo (39570.1550) se dice que el primer dato es mayor que el segundo, es decir que la viscosidad del almidón de banano es mayor que la viscosidad que presenta el almidón de trigo. Por último se ve la comparación entre las viscosidades de los almidones de banano y de maíz y al ver que la significación es igual a 0.000 (menor a 0.05) y que la comparación entre medias es un dato positivo (50131.13), por lo que se explico anteriormente se puede decir que las viscosidades presentadas por el almidón de banano son mayores a las presentadas por el almidón de maíz. Entonces, se puede decir por las tres comparaciones explicadas, que según la prueba de la mínima diferencia significativa de Fisher realizada a los datos de

viscosidad, el almidón de banano tiene una viscosidad mayor en suspensión que las que pueden presentar los almidones de maíz y de trigo.

Luego se presenta la tabla 8.10 la cual nos indica el promedio y desviación estándar de las mediciones realizadas a las suspensiones de cada tipo de almidón y cada concentración realizada en la que se ve que las suspensiones realizadas con almidón de trigo a una concentración de 5% y las hechas con almidón de maíz a una concentración de 10%, tuvieron los datos menos dispersos, al tener una desviación de 0, mientras que los datos más dispersos fueron los de los almidones de banano y de maíz ambos a una concentración de 15% en la que ambos tuvieron un valor de 3039.86. Por otro lado, en la tabla 8.11 se presentan los promedios y desviaciones estándar para cada tipo de almidón, donde se ve que el almidón con menor dispersión fue el almidón de maíz mientras que el almidón de banano fue el tipo de almidón con mayor dispersión, lo que se explicará mejor con la grafica 8.11 que se analiza a continuación.

La Grafica 8.11 es la representación de barras de error para los resultados de las mediciones de Viscosidad de las suspensiones de almidón. Estas barras permiten identificar la variabilidad de la medida empleada como función de resumen en el grafico, en este caso, la media, que se representa por el punto que esta en la mitad o casi a la mitad de cada barra (Cáceres, (1995), pág. 198). Los extremos de cada barra, representan a los datos mínimos y máximos de cada uno de los tipos de almidón. Como puede verse, entonces, la amplitud de la barra del almidón de banano es más amplia lo que quiere decir que los datos en este se encuentran más dispersos, mientras que la barra de almidón de maíz es más pequeña, lo que quiere decir que la dispersión de sus datos es muy pequeña, el almidón de trigo por otro lado presenta una barra de amplitud media y por lo tanto tiene una dispersión media. Lo que se puede interpretar de lo anterior es que se debe tener mayor cuidado al hacer las mediciones del almidón de banano que el que se debe tener con los demás almidones porque al tener un rango tan amplio en el que se presentan sus datos hay una mayor probabilidad de hacer una medición errónea, aunque como en la investigación de este estudio se hicieron 5 mediciones de cada una de las concentraciones de almidón de banano, se puede decir que esta posibilidad de cometer un error la medición se ha cubierto.

## 10. Conclusiones

- El almidón de banano es un buen sustituto de los almidones de maíz y de trigo como agente viscosante o espesante.
- Los tres tipos de almidón utilizados en la investigación cumplen con la prueba de identificación para almidones descrita en la USP 32.
- El almidón de banano es el tipo de almidón que tiene la mayor estabilidad en suspensión y por lo tanto el que menos volumen de sedimentos forma, comparados con los almidones utilizados comercialmente.

- El almidón de maíz es el que tiene la mejor capacidad suspensora de los tres almidones utilizados en el estudio, mientras que el almidón de banano tiene la peor capacidad suspensora.
- El tipo de almidón y la concentración que hay en una suspensión de almidón son factores significativos estadísticamente que alteran la viscosidad de una suspensión.

### 11. Recomendaciones

- Para extraer almidón de banano se recomienda siempre utilizar frutos lo más inmaduros posibles, porque es en este estado que se les puede extraer la mayor cantidad de almidón.
- Es muy importante que los trozos de banano que se cortan de los frutos verdes se pongan en solución acida para que estos no se oxiden con el aire, ya que son muy susceptibles a oxidación lo cual les da una coloración negra.

- Para las mediciones de volumen de sedimentación de almidón es mejor dejar en reposo la suspensión por 20 minutos antes de leer la cantidad de sedimentos, y luego leer la cantidad de sedimentos utilizando una luz incandescente de contraste, ya que esto es muy difícil leerlo a simple vista o incluso solo con luz del sol.
- Cuando se miden viscosidades de suspensiones de almidón con Viscosímetro Brookfield LV, ya sea de cualquier tipo de almidón, es recomendable no incluir en el estudio concentraciones más altas que 15%  $P/V$  ya que concentraciones más altas son demasiado viscosas y no pueden ser leídas por este instrumento.
- El almidón de banano puede utilizarse como viscosante en productos que no necesiten tener muchos materiales pesados en suspensión ya que el almidón de banano presentó una capacidad suspensora muy baja.
- Se recomienda probar la suspendibilidad de otros sólidos a suspender con almidón de banano ya que puede que este mejore su capacidad suspensora con otros tipos de sólidos y no precipiten tanto como el Hidróxido de Aluminio.

## 12. Referencias

- AMTEX, S.A., de C.V., Método Analítico para la determinación de viscosidades con viscosímetros brookfield, (2005), 6ta. Edición, Código de documento: CK-G02, Mexico.
- Aulton, M.E., (2004), Farmacia: La Ciencia del diseño del diseño de las formas Farmaceuticas, 2ª. Edición, Editorial Elsevier, Genova, España.

- Barrera, Victor, Tapia, Cesar, Monteros, Alvaro, (2004), Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la Conservación y uso sostenible en el Ecuador, 1ª. Edición, Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Quito, Ecuador.
- Bello – Pérez, Luis A., Sayago, Sonia, Villagómez, Juan, Montiel-Salas, Lizbeth, (2000), Almidón de plátano y calidad sensorial de dos tipos de galletas, Laboratorio de Bioquímica, Fisicoquímica y Tecnología de Almidón, Instituto Tecnológico de Acapulco, Guerrero, México.
- Bonilla, A.; Morúa, G. (2001). Extracción y caracterización parcial del almidón de banano verde utilizando una pectinasa, Revista del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Volumen 8, Universidad de Costa Rica.
- Cabrera, Ana, (2005), Extracción y Caracterización de Almidón de Plátano y Banano de las Variedades FHIA-01, 20, 21 y 23, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Colima, México.
- Caceres Alvarez, Rafael (1995), Estadística Multivariante y no paramétrica con SPSS, Aplicada a las Ciencias de la Salud, 1ª. Edición, Ediciones Díaz de Santos, Madrid, España.
- Cervera Cahuana S., Pasion, William, Trujillo, Oscar, (2008), Obtención de Jarabe a partir de la pulpa de banano verde, mediante la hidrólisis ácida de sus almidones, aplicando ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.

- Da Mota, R.V.; Lajolo, F.M.; Ciacco, C.; Cordenunsi, B.R. (2000). Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Starch* 52: 63-68.
- FAO, (2004), La economía mundial del banano 1985-2002, Deposito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/y5102s/y5102s05.htm>, visitado el 08/11/2010.
- Flores-Gorosquera, Emigdia, García, Francisco, Flores, Emmanuel, Nuñez, Maria, González, Rosalía, Bello, Luis (2004), Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa Paradisiaca*), estudio en planta piloto, Centro de desarrollo de Productos Bióticos del IPN, Yautepec – Jojutla, Morelos, México. (Acta Científica Venezolana, Artículo 0001 – 5504).
- Matinez Covalada, Hector, Espinal, Carlos, Peña, Yadira, (2005) La cadena del banano en colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005, Agrocadenas, Bogota, Colombia.
- McGilvery, Robert, (1987), Conceptos Bioquimicos, 1ª. Edición, Editorial Reverté, Barcelona, España.
- Nemerow, Nelson, (1998), Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos, 2ª. Edición, Ediciones Diaz de Santos, Madrid, España.
- Pérez, Elevina, Marín, José, (2009), Situación actual de las harinas de banano: Usos potenciales en la agroindustria nacional, Suplemento Producción Agropecuaria de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago Vol. 2, No.1, Santa Barbara, Venezuela.

- Pionteek, Jürgen, (2006), Handbook of Antistatics, 1a. Edición, Publicaciones Chemtek, Ontario, Canadá.
- Primo Yúfera, E., (2004), Química Orgánica Básica y Aplicada, de la Molécula a la Industria, Editorial Reverte, S.A., Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Santiago Fernandez, Alejandro, (2002), Estadística Descriptiva, 2ª. Edición, Editorial Esic, Madrid, España.
- USP 32, Starch, Farmacopea de los Estados Unidos 32, Formulario Nacional 27, (2009), United States Pharmacopeia Convention, Estados Unidos.
- Suárez, Diana, Gómez, David, (2003), Guía de procesos para la elaboración de harinas, almidones, hojuelas deshidratadas y compotas, 1ª. Edición, Serie Ciencia y Tecnología, Bogota Colombia.
- Triveni, P.S., (1994), Sensory Research in food development and marketing, Cereal Food World, Wisconsin, USA.
- Troy, David, (2006), Remington: The Science and Practice of Pharmacy, 21a. Edición, Editorial Lippincott, Williams & Wilkins, USA.
- Trujillo, S., Schmidt, W., Lazos, R., Galvan, M., (2002) Incertidumbre en la calibración de Viscosímetros Brookfield, Centro Nacional de Metrología, Laboratorio de Viscosidad, Queretaro, Mexico, visitado el 16/08/10, disponible en: <http://www.cenam.mx/fyv/publicaciones%5Cta-or001.pdf>.
- United States Patent and Trademark Office website, Department of Commerce, Estados Unidos, visitado el 23/02/2011, disponible en: <http://www.uspto.gov/>

- Webster, Allen, M. (2000) Estadística aplicada a los negocios y la economía, 3era. Edición, Editoriales McGraw – Hill, Colombia.
- Whistler, R.L.; BeMiller, J.N. (1997). Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. 1997. Gagan Press. St. Paul, Minnesota.

### 13. ANEXOS

<u>Anexo</u>	<u>Pagina</u>
1. Resultados de Calibración de Viscosímetro Brookfield	63
2. Resultados Completos de mediciones de viscosidad de las suspensiones de los tres almidones utilizados	64
3. Tabla completa de resultados de Análisis de Varianza realizada a las	66

mediciones de viscosidad de las suspensiones de almidón.

4. Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de platano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto 67
5. Propiedades Químicas y Funcionales del Almidón Modificado de Plátano *Musa paradisiaca* L., (var. Macho) 72
6. Incertidumbre en la Calibración de Viscosímetros Brookfield 84

## **ANEXO 1. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA CALIBRACIÓN DEL VISCOSIMETRO BROOKFIELD MODELO LV, UTILIZADO PARA LAS MEDICIONES DE VISCOSIDAD DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDÓN UTILIZADAS**

Tabla de factores de corrección encontrados, utilizando una sustancia de viscosidad conocida, para cada una de las agujas utilizadas en el viscosímetro Brookfield modelo LV, utilizado en las mediciones de viscosidad de las distintas suspensiones de almidón.

Numero aguja	Factor de Corrección
1	1.850
2	0.986
3	1.110
4	1.110

Nota: El Factor de corrección es un número por el cual todo resultado medido con la aguja utilizada es multiplicado para corregir el error de desviación del instrumento, en este caso Viscosímetro tipo Brookfield serie LV.

## **ANEXO 2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES DE VISCOSIDAD REALIZADAS A LAS SUSPENSIONES FABRICADAS CON LOS ALMIDONES DE MAÍZ, TRIGO Y BANANO.**

Resultados de mediciones de viscosidad de las suspensiones de los almidones utilizados, a las concentraciones de 2.5%, 5%, 10% y 15%. Primero se muestran las viscosidades aparentes de cada medición y luego las corregidas al multiplicar los resultados por el factor de calibración obtenido para la respectiva aguja del viscosímetro utilizada.

Tipo de Almidón	Concentración		
-----------------	---------------	--	--

		Viscosidad Aparente (en cps)	Viscosidad Corregida (en cps)
Trigo	2.50%	62.5	115.625
Trigo	2.50%	65	120.25
Trigo	2.50%	65	120.25
Trigo	2.50%	65	120.25
Trigo	2.50%	67.5	124.875
Maíz	2.50%	10	18.5
Maíz	2.50%	15	27.75
Maíz	2.50%	15	27.75
Maíz	2.50%	15	27.75
Maíz	2.50%	15	27.75
Banano	2.50%	25	46.25
Banano	2.50%	37.5	69.375
Banano	2.50%	37.5	69.375
Banano	2.50%	37.5	69.375
Banano	2.50%	37.5	69.375
Trigo	5%	210	388.5
Trigo	5%	210	388.5
Trigo	5%	210	388.5
Trigo	5%	210	388.5
Trigo	5%	210	388.5
Maíz	5%	575	566.95
Maíz	5%	600	591.6
Maíz	5%	600	591.6
Maíz	5%	600	591.6
Maíz	5%	650	640.9
Banano	5%	650	640.9
Banano	5%	675	665.55
Banano	5%	675	665.55
Banano	5%	675	665.55
Banano	5%	675	665.55
Trigo	10%	1100	1221
Trigo	10%	1200	1332
Trigo	10%	1200	1332
Trigo	10%	1200	1332
Trigo	10%	1300	1443
Maíz	10%	1200	1332
Maíz	10%	1200	1332
Maíz	10%	1200	1332
Maíz	10%	1200	1332
Maíz	10%	1200	1332

Banano	10%	14000	15540
Banano	10%	14000	15540
Banano	10%	14400	15984
Banano	10%	14800	16428
Banano	10%	14800	16428
Trigo	15%	58000	64380
Trigo	15%	58000	64380
Trigo	15%	58000	64380
Trigo	15%	60000	66600
Trigo	15%	60000	66600
Maíz	15%	20000	22200
Maíz	15%	20400	22644
Maíz	15%	20400	22644
Maíz	15%	21200	23532
Maíz	15%	21200	23532
Banano	15%	185000	205350
Banano	15%	185000	205350
Banano	15%	190000	210900
Banano	15%	190000	210900
Banano	15%	190000	210900

### **ANEXO 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO REALIZADO A LOS RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE VISCOSIDAD DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDÓN TRABAJADAS**

Resultado de la Prueba de análisis de varianza para el modelo factorial de las viscosidades de las suspensiones de almidón, utilizando la tabla 8 como referencia, donde se utilizan las variables Concentración y Tipo de Almidón como variables independientes y la variable Viscosidad Corregida como variable dependiente.

Fuente	Suma de Cuadrados	gL	Media Cuadrática	F	Significación
--------	-------------------	----	------------------	---	---------------

	Tipo III				
Modelo corregido	2.010E+11 <sup>a</sup>	11	1.83E+10	19441.288	.000
Intersección	4.197E+10	1	4.20E+10	44651.401	.000
CONCEN	1.055E+11	3	3.52E+10	37414.065	.000
ALMIDÓN	2.794E+10	2	1.40E+10	14861.907	.000
CONCEN* ALMIDÓN	6.757E+10	6	1.13E+10	11981.360	.000
Error	45113586.9	48	939866.394		
Total	2.430E+11	60			
Total Corregida	2.010E+11	59			

R cuadrado = 1.000 (R cuadrado corregida = 1.000)

#### **Anexo 4. Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de platano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto**

**Emigdia Flores-Gorosquera, Francisco J. García-Suárez, Emmanuel Flores-Huicochea, María C. Núñez-Santiago, Rosalía A. González-Soto y Luis A. Bello-Pérez**

Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del IPN. Km 8.5 Carr. Yautepec-Jojutla, 62731 Yautepec, Morelos, México. E-mail: labellop@ipn.mx

#### **RESUMEN:**

El plátano (*Musa paradisiaca*) se consume en México principalmente cocinado, pero su consumo no es muy popular, por lo que se pierden cantidades apreciables del fruto durante su manejo poscosecha. En su estado verde o inmaduro esta fruta contiene principalmente almidón, por lo que se puede diversificar su uso como materia prima para el aislamiento de este polisacárido. El objetivo del trabajo fue estudiar el rendimiento de la extracción del almidón a nivel planta piloto. Se hicieron pruebas a nivel laboratorio usando pulpa con ácido cítrico al 0,3 % (antioxidante), para evaluar las diferentes operaciones unitarias del proceso. El rendimiento

del almidón, en relación a la cantidad inicial presente en la pulpa, estuvo entre 76 y 86 %; cuando se realizó el proceso a escala planta piloto el rendimiento fue entre 63 y 71 %. Los rendimientos de almidón fueron muy similares entre los diferentes lotes, demostrándose que el proceso es reproducible. La recuperación menor del almidón a escala de planta piloto se debió a pérdidas en las operaciones de cribado, sin embargo los valores se encontraron en un intervalo que puede considerarse adecuado para este tipo de procesos. Palabras clave: almidón, plátano, procesos de separación, *Musa paradisiaca*.

### **Yield Of Starch Extraction From Plantain (*Musa Paradisiaca*). Pilot Plant Study**

#### **ABSTRACT:**

In México, the banana (*Musa paradisiaca*) is cooked (boiling or deep frying) before being eaten, but the consumption is not very popular and a big quantity of the product is lost after harvesting. The unripe plantain has a high level of starch and due to this the use of banana can be diversified as raw material for starch isolation. The objective of this work was to study the starch yield at pilot plant scale. Experiments at laboratory scale were carried out using the pulp with citric acid to 0,3 % (antioxidant), in order to evaluate the different unitary operations of the process. The starch yield, based on starch presence in the pulp that can be isolated, were between 76 and 86 %, and the values at pilot plant scale were between 63 and 71 %, in different lots of banana fruit. Starch yield values were similar among the diverse lots, showing that the process is reproducible. The lower values of starch recovery at pilot plant scale are due to the loss during sieving operations; however, the amount of starch recovery is good. Key Words: Starch, banana, separation processes, *Musa paradisiaca*

#### **Introducción**

El almidón es una fracción importante de un gran número de productos agrícolas, como los cereales (maíz, trigo, arroz), cuyo contenido de este carbohidrato es de 30 a 80%, las leguminosas (frijol, chícharo, haba), con 25 a 50%, los tubérculos (papa, yuca), en los que el almidón representa entre 60 y 90%, y algunas frutas, como el plátano y el mango, que en su estado verde o inmaduro alcanzan contenidos de almidón de hasta 70% en base seca<sup>2,10</sup>. En Norte América, en general, el maíz es la fuente más comúnmente usada para el aislamiento de almidón; en el caso específico de México, el maíz se utiliza principalmente para la elaboración de las tortillas, por lo que emplear este grano como materia prima para aislar el almidón no resulta práctico, debido a que la producción nacional es insuficiente para abastecer el maíz que se requiere para el consumo humano; de allí la importancia de buscar fuentes alternativas para aislar almidón.

El plátano representa 2,7% de los cultivos perennes en México. Se trata de un fruto climatérico, que una vez que se corta del árbol, inicia un proceso de maduración acelerado, ocasionando que cada año se pierda de 30 a 50% de la cosecha<sup>6</sup>, por lo que se debe buscar alternativas tecnológicas para diversificar su uso y aprovechamiento. En su estado verde o inmaduro, el fruto del plátano tiene hasta un 70% de almidón en base seca<sup>2,7</sup>, cantidad que es comparable con la que presentan algunos cereales, leguminosas y tubérculos que se han usado tradicionalmente para el aislamiento de este polisacárido. Además, algunos estudios sobre el aislamiento del almidón de plátano a nivel laboratorio y su caracterización, han sugerido que dicho almidón puede tener características fisicoquímicas, funcionales y de biodisponibilidad interesantes.

Cuando el fruto del plátano inicia su maduración, el almidón es hidrolizado a carbohidratos sencillos como glucosa y fructosa. Por otro lado, cuando al fruto se elimina la cáscara, se inicia un proceso de oxidación debido a la presencia de enzimas como la polifenoloxidasas, la cual produce compuestos de color negro, que pueden provocar problemas en la calidad final del almidón; de ahí la necesidad de tener algunos agentes antioxidantes que eviten dicho oscurecimiento. Como ya se mencionó, los pocos estudios conocidos sobre el aislamiento del almidón de plátano han sido a nivel de laboratorio; sin embargo, es importante iniciar estudios que podrían llevar a proponer posteriormente un proceso a nivel industrial. El objetivo del presente trabajo fue estudiar el rendimiento en el proceso de aislamiento del almidón a partir de plátano (*Musa paradisiaca*) a nivel de planta piloto y compararlo con el aislamiento a escala de laboratorio.

## **Materiales y Métodos**

### **Aislamiento del almidón a nivel laboratorio**

El aislamiento del almidón se basó en el método neutro. Los frutos de plátano (banano de cocción; *Musa paradisiaca*) fueron adquiridos directamente de las plantaciones, una vez que el productor consideró que tenía la condición adecuada para su comercialización, la cual corresponde aún a un estado verde o inmaduro. La selección se hizo de esta manera debido a que el fruto en ese momento ya tiene el tamaño y peso adecuado para su comercialización y es como el productor requiere se pague el precio de su materia prima. Se pesaron lotes entre 2,4 y 3,1 kg del fruto, se eliminó la cáscara, se cortaron en trozos de 2-3 cm de largo y se colocaron en un vaso de precipitado de 4 L con una solución antioxidante de ácido cítrico (0,3%, concentración determinada en experimento previo, datos no mostrados), debido a que al contacto con el oxígeno se produce oxidación de la pulpa (oscurecimiento) lo que podría ocasionar la aparición de puntos o manchas negras en el almidón aislado; en esta etapa se empleó con una relación fruto/solución 1:1,5 (p/v). Para la molienda húmeda se utilizó una licuadora casera (Hamilton Beach, Modelo 58100-MX, México, D.F.) a velocidad máxima, por dos minutos, posteriormente el fruto molido se cribó sucesivamente en mallas de 20, 40, 100 y 200 U.S. En cada malla el residuo se lavó hasta que el líquido de salida no tuviera residuo aparente de almidón. La suspensión obtenida se separó en una centrífuga de laboratorio a 5000xg, se eliminó el sobrenadante, y de la pasta resultante se separó el residuo blanco (almidón), el cual se resuspendió en agua destilada y se centrifugó nuevamente. Esta operación se repitió tres veces y la pasta final se secó en una estufa con recirculación de aire a 40-45