



MCA-2017/09

**S.E.P.** TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

## **INSTITUTO TECNOLÓGICO** de Tuxtepec

**"EFECTO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO COMO UN  
ADJUNTO NO CONVENCIONAL EN LA FERMENTABILIDAD  
DEL MOSTO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA CERVEZA  
ARTESANAL"**

**TESIS**

Para Obtener el título de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS**

PRESENTA

**I. B. O. ERIKA LEÓN PÉREZ**

DIRECTOR:

**DR. ERASMO HERMAN Y LARA**

CO-DIRECTORA:

**DRA. ROSELIS CARMONA GARCÍA**

TUXTEPEC, OAXACA, AGOSTO 2017

## **COMITÉ TUTORIAL**

**DR. ERASMO HERMAN Y LARA**

**DRA. ROSELIS CARMONA GARCÍA**

**DRA. CECILIA EUGENIA MARTÍNEZ SÁNCHEZ**

**DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA**



**S.E.P.                    TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

---

---

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC**

**“EFECTO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO COMO UN  
ADJUNTO NO CONVENCIONAL EN LA FERMENTABILIDAD  
DEL MOSTO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA CERVEZA  
ARTESANAL”**

**TESIS**

**Para obtener el título de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**IBQ. ERIKA LEÓN PÉREZ**

**DIRECTOR:**

**DR. ERASMO HERMAN Y LARA**

**CO-DIRECTORA:**

**DRA. ROSELIS CARMONA GARCÍA**

**TUXTEPEC, OAX.**

**SEPTIEMBRE 2017.**



"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos"

SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA  
División de Estudios Profesionales

Procedimiento para la Titulación  
**Autorización de Presentación del Trabajo Profesional**  
Referencia a la Norma ISO 9001:2008 7.5.1

SUBDIRECCION ACADÉMICA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
EXPEDIENTE: DEP-ñ/17  
Tuxtepec, Oaxaca. **31/AGOSTO/2017**  
OFICIO: No. 3613

**IBQ. ERIKA LEÓN PÉREZ**  
**EGRESADA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS**  
**CON NÚMERO DE CONTROL M10350036**  
**PRESENTE.**

POR MEDIO DE LA PRESENTE ME PERMITO COMUNICARLE QUE LA COMISIÓN REVISORA INTEGRADA POR LOS C.C **DR. ERASMO HERMAN Y LARA, DRA. ROSELIS CARMONA GARCÍA, DRA. CECILIA EUGENIA MARTÍNEZ SÁNCHEZ Y DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA** REVISÓ Y APROBÓ EN SU TOTALIDAD EL TRABAJO PROFESIONAL DENOMINADO "**EFFECTO DEL ALMIDÓN DE PLATANO MACHO COMO UN ADJUNTO NO CONVENCIONAL EN LA FERMENTABILIDAD DEL MOSTO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA CERVEZA ARTESANAL**" PRESENTADO POR USTED COMO PRODUCTO DE **TESIS** DEL LINEAMIENTO DE TITULACIÓN CORRESPONDIENTE, PARA OBTENER EL TÍTULO DE **MAESTRA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS**.

POR LO ANTERIOR Y DE ACUERDO A LOS LINEAMIENTOS INSTITUCIONALES, SE LE DA TRÁMITE LEGAL PARA QUE PROCEDA A LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO PROFESIONAL.

**ATENTAMENTE**  
"CIENCIA Y TÉCNICA PRESENTES AL FUTURO"

  
**M.E. JULIAN KURI MÁR**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES.**

C.c.p.-Coord. de titulación  
JKM/has



Y miró detenidamente el árbol junto al que se hallaban y dijo:

Este árbol se encuentra solitario aquí en la montaña; ha crecido muy por encima del hombre y del animal. Y si quisiera hablar, no tendría a nadie que lo comprendiese: tan alto ha crecido.

Also sprach Zarathustra. Ein Buch für Alle und Keinen  
Friedrich Nietzsche

**LEÓN PÉREZ E. (2017). M.C EN ALIMENTOS. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC. “EFECTO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO COMO UN ADJUNTO NO CONVENCIONAL EN LA FERMENTABILIDAD DEL MOSTO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA CERVEZA ARTESANAL”. DIRECTOR: DR. ERASMO HERMAN Y LARA.**

La cerveza es una bebida que resulta de la fermentación de la mezcla de varios cereales con alto contenido de almidón a nivel industrial y artesanal. Sin embargo, no se han considerado otras fuentes importantes de almidón proveniente de tubérculos como la malanga, yuca y el plátano macho. El plátano macho (PM) es un fruto que en estado inmaduro presenta de un 8 a 11% de almidón. El Estado de Oaxaca ocupa el octavo lugar de PM a nivel nacional (2.3%), siendo el municipio de Tuxtepec el principal productor. Pérdidas postcosecha provocan desechos que podrían ser utilizados en la fabricación de cervezas artesanales. Por lo anterior el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del almidón de PM como adjunto no convencional en la fermentabilidad del mosto para la elaboración de una cerveza artesanal. El PM fue obtenido en etapa de maduración 1. Posteriormente se realizó el aislamiento de almidón, análisis químico proximal (AQP), índice de solubilidad en agua, poder de hinchamiento, temperatura de gelatinización mediante el DSC y microscopía electrónica de barrido. Se obtuvo primero el aislado de almidón y posteriormente un jarabe de glucosa a partir de almidón de plátano macho, para más tarde elaborar cervezas artesanales, una tradicional (control con 0% de jarabe de glucosa de almidón de PM y 100% de malta) y otras con sustitución de malta con 20, 30 y 40% de jarabe de glucosa de almidón de PM. A las cervezas obtenidas se les determinó grados de alcohol, grados brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ), pH, color, extracto de mosto original (EMO), amargor, retención de espuma, y sensorialmente el grado de preferencia. En el aislamiento del almidón se obtuvo un rendimiento de 8.02% en b.h. (base húmeda). Con el AQP, se observó un bajo contenido de humedad de 10.16%, estableciendo un valor permitido por las especificaciones industriales como adecuado para el almacenamiento de almidones y harinas. Los valores de cenizas (0.22%), lípidos

(3.47%) y proteínas (2.19%) fueron similares a los reportados en otros trabajos sobre almidones de plátano macho. Se obtuvo una tendencia al incremento de solubilidad de 2.63 a 7.82% e hinchamiento de 1.87 a 7.23 g agua/g almidón conforme aumentaba la temperatura. La morfología del gránulo de almidón de PM, presentó formas elongadas, esferoides aplanadas, con superficie lisa propias del almidón de plátano macho, donde se apreciaron estructuras limpias que indicaron que el aislamiento de almidón fue realizado adecuadamente. En los termogramas por calorimetría de barrido diferencial se observó una temperatura de pico de 78.97 °C y una entalpía de 9.91 J/g. En las cervezas elaboradas con jarabe de glucosa de almidón de PM mostraron diferencias en cuanto al amargor (14.56 °IBUS), color (11.37) y retención de espuma (3.22 en sustitución al 40% y 3.40 en sustitución al 30%), mientras que los grados brix, grados de alcohol, pH y EMO se mantuvieron similares significativamente con la cerveza artesanal de 100% malta. En la evaluación sensorial la cerveza con sustitución al 40% de jarabe de glucosa de almidón de PM fue calificada positivamente con 7.2 por los consumidores. Por lo que el adjunto podría ser utilizado para la elaboración de cerveza artesanal y ser comercializada.

## ABSTRACT

**LEÓN PÉREZ E. (2017). M.C EN ALIMENTOS. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC. "EFFECT OF PLANTAIN STARCH AS A NON-CONVENTIONAL ADJUNCT IN THE FERMENTABILITY OF THE WORT FOR THE ELABORATION OF AN ARTISANAL BEER" DIRECTOR: DR. ERASMO HERMAN Y LARA.**

Beer is a beverage that results from the fermentation mixture of various cereals with high content of starch to industrial and artisanal level. However, other important starch sources from tubers like taro, cassava and the plantain have not been considered. The plantain (P) is a fruit which in immature State presents 8-11% starch. Oaxaca State occupies the eighth place of PM at national level (2.3%), being the municipality of Tuxtepec main producer. Post-harvest losses cause waste that could be used in the manufacture of craft brews. Therefore the aim of this research was to evaluate the effect of starch of P as non-conventional adjunct on the fermentability of the wort to a craft brewing. The P was obtained in stage of maturation 1. Later was the isolation of starch, proximal chemical analysis (AQP), soluble in water, power of swelling, temperature of gelatinization by DSC and scanning electron microscopy. It was first obtained starch isolated and then glucose syrup from plantain starch, for later development microbrews, a traditional (control with 0% of glucose from P starch and 100% of malt syrup) and others with replacement of malta with 20, 30 and 40% of PM cornstarch glucose syrup. To beers obtained it was determined alcohol degrees, brix degrees ( $^{\circ}$  Bx), pH, color, extract original wort (EMO), bitterness, foam retention, and by sensory analysis the degree of preference. The isolation of starch was obtained a yield of 8.02% in wb. (wet basis). With the AQP, it was observed a low moisture content of 10.16%, setting a value allowed by the industrial specifications such as suitable for the storage of starches and flours. The values of ashes (0.22%), lipids (3.47%) and proteins (2.19%) were similar to those reported in other works on plantain starches. It was a tendency to increase from 2.63 to 7.82% solubility and swelling of 1.87 to

7.23 g water/g as the temperature increased. P starch granule morphology, presented elongated forms, flattened spheroids, with smooth surface of plantain starch, where clean structures indicated that starch isolation was performed properly. In the thermograms by differential scanning calorimetry was 78.97 °C peak temperature and an enthalpy of 9.91 j/g. Beers made with glucose syrup from starch of P showed differences in terms of bitterness (14.56 ° IBUS), color (11.37) and retention of foam (3.22 to replace 40% and 3.40 to replace 30%), while the brix degrees, alcohol degrees, pH and EOW remained similar significantly with 100% with handmade beer malt. In the sensory evaluation beer with replacing 40% of P cornstarch glucose syrup was described acceptable with 7.2 score by consumers. So this adjunct could be used for brewing craft and be marketed.

# CONTENIDO

	<b>ABSTRACT</b>	<b>iv</b>
	<b>ÍNDICE</b>	<b>vi</b>
	<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>ix</b>
	<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>x</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>CERVEZA</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1</b>	<b>HISTORIA DE LA CERVEZA</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2</b>	<b>MATERIAS PRIMAS BÁSICAS PARA ELABORAR CERVEZA</b>	<b>5</b>
<b>2.1.3</b>	<b>ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO</b>	<b>7</b>
<b>2.1.4</b>	<b>ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL</b>	<b>10</b>
<b>2.1.5</b>	<b>PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN</b>	<b>12</b>
<b>2.1.6</b>	<b>GELATINIZACIÓN</b>	<b>13</b>
<b>2.1.7</b>	<b>ESTRUCTURA DEL GRÁNULO DE ALMIDÓN</b>	<b>14</b>
<b>2.1.8</b>	<b>HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN</b>	<b>14</b>
<b>2.1.9</b>	<b>HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN EN EL PROCESO DE MACERACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>2.1.9.1</b>	<b>Maceración en frío</b>	<b>16</b>
<b>2.1.9.2</b>	<b>Maceración con calor</b>	<b>16</b>
<b>2.1.10</b>	<b>TIPOS DE CERVEZA</b>	<b>17</b>
<b>2.1.11</b>	<b>TIPOS DE FERMENTACIONES</b>	<b>18</b>
<b>2.1.12</b>	<b>CERVEZA ARTESANAL</b>	<b>19</b>
<b>2.1.13</b>	<b>PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CERVEZA</b>	<b>22</b>

2.1.14	EVALUACIÓN SENSORIAL	28
2.1.15	TRABAJOS CIENTÍFICOS RELACIONADOS CON ESTA INVESTIGACIÓN	29
2.1.16	JUSTIFICACIÓN	34
2.1.17	OBJETIVOS	35
3	MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1	OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA	36
3.2	AISLAMIENTO DE ALMIDÓN	37
3.3	ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL	37
3.4	ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA Y PODER DE HINCHAMIENTO	9
3.5	GELATINIZACIÓN	40
3.6	CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	40
3.7	OBTENCIÓN DE JARABE DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO	41
3.8	ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL TRADICIONAL Y CON SUSTITUCIÓN DE JARABE DE GLUCOSA DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO	42
3.8.1	MOLIENDA DEL GRANO.	42
3.8.2	MACERACIÓN	42
3.8.3	RECIRCULACIÓN Y LAVADO DEL GRANO	43
3.8.4	COCCIÓN DEL MOSTO	43
3.8.5	FERMENTACIÓN	43
3.8.6	CARBONATACIÓN Y EMBOTELLADO	44
3.9	PARÁMETROS DE CALIDAD A DETERMINAR EN LA CERVEZA ARTESANAL TRADICIONAL Y UNA SUSTITUÍDA CON JARABE DE GLUCOSA DE ALMIDÓN DE PLÁTANO	44

	<b>MACHO</b>	
<b>3.9.1</b>	<b>PRUEBAS FISICOQUÍMICAS</b>	<b>44</b>
<b>3.9.2</b>	<b>EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA CERVEZA</b>	<b>47</b>
<b>3.9.3</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b>	<b>48</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>AISLAMIENTO DE ALMIDÓN</b>	<b>49</b>
<b>4.2</b>	<b>ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL</b>	<b>50</b>
<b>4.3</b>	<b>ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA) Y PODER DE HINCHAMIENTO</b>	<b>52</b>
<b>4.4</b>	<b>MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO</b>	<b>53</b>
<b>4.5</b>	<b>PROPIEDADES TÉRMICAS DE GELATINIZACIÓN</b>	<b>55</b>
<b>4.6</b>	<b>ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL CON SUSTITUCIÓN DE MALTA POR 20, 30 Y 40% DE JARABE DE GLUCOSA DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO</b>	<b>57</b>
<b>4.7</b>	<b>CINÉTICAS DE FERMENTABILIDAD DE CERVEZAS ARTESANALES CON JARABE DE GLUCOSA DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO AL 20, 30 Y 40% DE SUSTITUCIÓN DE MALTA</b>	<b>58</b>
<b>4.8</b>	<b>RESULTADOS DE EVALUACIÓN SENSORIAL</b>	<b>67</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página No.</b>
1	Tanque de fermentación.	3
2	Granos de malta.	5
3	Lúpulo en flor.	6
4	Estructura de amilosa	8
5	Estructura de amilopectina.	9
6	Plátano macho verde crudo.	10
7	Diagramas de flujo de una cerveza industrial (a) y una cerveza artesanal (b).	21
8	Etapas de maduración del plátano.	36
9	Rampa de temperatura para la obtención de jarabe de almidón de plátano macho.	41
10	Modelo de escala no – estructurada de 10 cm.	48
11	Almidón recolectado.	50
12	Microfotografía del almidón de plátano macho.	54
13	Cinética de fermentabilidad para cerveza artesanal con un 20% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho.	59
14	Cinética de fermentabilidad para cerveza artesanal con un 30% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho.	60
15	Cinética de fermentabilidad para cerveza artesanal con un 40% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho.	61
16	Grafica con resultados de evaluación sensorial a las diferentes cervezas elaboradas.	69

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página No.</b>
<b>1</b>	Análisis químico proximal del almidón nativo de plátano macho.	9
<b>2</b>	Tipos de cerveza y características sensoriales.	17
<b>3</b>	Métodos para análisis químico proximal del almidón de plátano macho.	38
<b>4</b>	Métodos para la determinación de las características fisicoquímicas de la cerveza.	45
<b>5</b>	Rendimiento de almidón de plátano macho.	49
<b>6</b>	Resultados de análisis químico proximal del almidón de plátano macho.	50
<b>7</b>	Resultados para índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento de almidón de plátano macho.	53
<b>8</b>	Resultados de propiedades térmicas del almidón de plátano macho.	55
<b>9</b>	Valores de los indicadores de elaboración de cerveza artesanal.	57
<b>10</b>	Resultados fisicoquímicos de las determinaciones realizadas a las cervezas artesanales con 100% malta, 20, 30 y 40% de adjunto de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho.	62

# 1. INTRODUCCIÓN

En el año 2012, se cultivó una superficie de alrededor de 4.9 millones de hectáreas de plátano macho. El promedio de la producción mundial en 2012-2014 fue de 92 millones de toneladas anuales y en 2012 se estimó en 99 millones de toneladas. En México el plátano macho se cultiva en varias entidades, siendo Chiapas, Veracruz, Tabasco, Michoacán y Colima quienes concentran tres cuartas partes de la superficie sembrada y cosechada, otro conjunto de 13 entidades siembra el resto, en este grupo se encuentra el Estado de Oaxaca, que es el tercer productor nacional de plátano; en promedio su producción representa 13 por ciento del total nacional, siendo la región de Tuxtepec el principal soporte ya que su producción se destina preferentemente a los mercados de Estados Unidos y Canadá, por su alta calidad (SAGARPA, 2015).

Según lo reportado por Millán-Testa et al. (2005), el plátano macho es un fruto que en estado inmaduro presenta de un 70 a 85% de almidón de base seca, por otra parte Galarza et al. (2004) han realizado una serie de investigaciones sobre el almidón de plátano macho, entre las cuales se tiene que este almidón es una fuente alternativa para la producción de diversos productos alimenticios como jarabes de glucosa, pastas, etc., productos que a nivel industrial se obtienen a base de almidón de maíz, sin embargo, su producción en México es insuficiente debido principalmente al alto consumo. Por lo cual se plantea una alternativa de la utilización del almidón de plátano macho como adjunto en la elaboración de un producto de gran importancia comercial a nivel mundial como la cerveza, puesto que la cerveza normalmente es elaborada mediante la mezcla de varios cereales como cebada, maíz, arroz entre otros, sin embargo no se consideran materias primas como el plátano macho, yuca, malanga, debido a que no se conocía su uso potencial para la extracción del almidón las cuales pudieran ofrecer otras

características al producto (Carvajal, 2010). A estos se les llama “adjuntos” los cuales contienen azúcares fermentables, el almidón contenido debe ser inicialmente solubilizado para que sea transformado por las enzimas de la malta. Es de notar que en la industria cuando se usan “grits” o harinas de cereales, se hace necesario solubilizar el almidón razón por la cual, el proceso en cocinas (área donde se lleva a cabo la maceración) se inicia con el llamado proceso de crudos. A pesar de que pueden existir variaciones en su elaboración dependiendo del tipo específico de cerveza, el proceso completo consiste básicamente de cuatro etapas: 1) malteado, basado en la germinación de la cebada; 2) producción del mosto cervecero, consiste en la extracción e hidrólisis de componentes de la cebada malteada seguido del hervido con la adición de lúpulo; 3) fermentación, se divide en fermentación primaria o principal y maduración y 4) procesamiento final, involucra las etapas de filtración, estabilización y embotellado (Linko et al., 1998). La etapa más lenta del proceso es la fermentación, donde células de levadura en suspensión fermentan el mosto en reactores por lote, sin agitación externa. La fermentación primaria dura aproximadamente siete días y la maduración puede tomar de una a varias semanas (Willaert, 2006). Ya que el almidón como adjunto es de gran importancia en la elaboración de cerveza, se propone el uso de fuentes que no suelen ser consideradas por la industria cervecera pero que son ricas en almidón y además podrían brindar características diferentes al producto.

Por lo anterior, en el presente trabajo se evaluó el efecto del empleo de almidón de plátano macho como azúcar fermentable en un adjunto no convencional en la fermentabilidad del mosto para la elaboración de una cerveza artesanal.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. CERVEZA.

Se define como “una bebida resultante de fermentar mediante levaduras seleccionadas, el mosto procedente de malta de cebada sólo o mezclado con otros productos amiláceos transformables en azúcares por digestión enzimática, cocción y aromatizado con flores de lúpulo”. En la Figura 1 se muestran los tanques de fermentación.



**Figura 1. Tanque de fermentación.**

<https://cerveza-mut.com/nuestro-proceso/2010>

### **2.1.1. HISTORIA DE LA CERVEZA.**

La cerveza es una de las bebidas más antiguas del mundo, junto con el vino. Desde hace miles de años el ser humano viene disfrutando de cervezas de todo tipo, sabores y colores. No existen datos sobre quienes inventaron la cerveza, pero los registros más antiguos sobre este producto, nos remontan a 6000 años atrás, en la zona de la Mesopotamia, los sumerios ya hacían cerveza e incluso dejaron registros escritos sobre la elaboración de este producto. Los sumerios preparaban cerveza de la siguiente manera, tomaban pan hecho con harina de trigo, lo cortaban en pedazos y metían esos pedazos en vasijas a las cuales les agregaban agua, dejando esas vasijas al sol durante varios días. El calor del sol hacía fermentar la harina de trigo y gracias a este proceso obtenían una bebida alcohólica que luego filtraban y bebían. Ellos llamaron a esa cerveza *Siraku* según el antiguo Egipto que remonta a 4000 años A. C.

En Egipto los arqueólogos que estudian las pirámides, durante años han sabido que la cantidad de obreros utilizados en la construcción de las mismas sobrepasaba las 20,000 personas, pero la gran duda que tenían era, en donde vivían esas personas, dónde descansaban, dónde se alimentaban. Se suponía que para construir semejantes monumentos debía existir cerca de las pirámides un campamento que pudiera albergar a tanta gente para darles dicho descanso y comida. Durante años buscaron ese campamento hasta que finalmente lo hallaron y grande fue su sorpresa al descubrir que en este lugar, además de albergues, había panaderías y fábricas de cerveza. Así los egipcios daban a sus obreros pan y cerveza, para alimentarlos y que tuvieran la energía suficiente para poder mover los enormes bloques de piedra que conforman las pirámides. Este era un buen alimento para los obreros ya que el pan que por un lado era económico, aportaba carbohidratos y la cerveza, nutrientes para generar energía. La cerveza era considerada como el Pan Líquido, por lo que se podría afirmar que las majestuosas pirámides de Egipto fueron construidas gracias a este maravilloso elixir que los egipcios llamaron *Zythum*. La ley no menciona la levadura, la cual fue descubierta en 1880 por Luis Pasteur. Antes de conocer el mecanismo de la fermentación, los cerveceros usualmente tomaban el sedimento de una

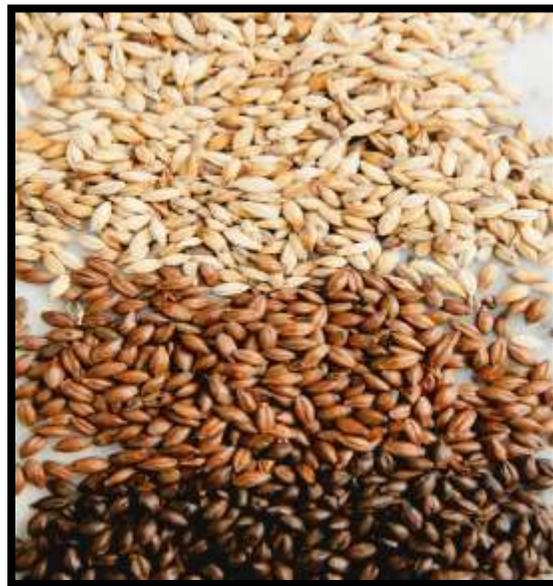
fermentación previa y lo agregaban a una nueva. Actualmente se siguen elaborando cervezas que cumplen con esta ley, las cuales son una garantía de calidad y no tienen aditivos químicos añadidos, aunque la mayoría de las cervezas que se fabrican en todo el mundo son cervezas industriales que lamentablemente están muy lejos de parecerse a una legítima cerveza hecha exclusivamente con malta de cebada (Carvajal et al., 2010).

## **2.1.2. MATERIAS PRIMAS BÁSICAS PARA ELABORAR CERVEZA.**

### **2.1.2.1. Malta.**

Según Alaniz et al. (2008) las principales materias primas utilizadas para la elaboración de cerveza son las siguientes:

Se obtiene de la cebada mediante un proceso controlado de germinación denominado malteo. Ésta se seca y en ocasiones se tuesta, lo que determina posteriormente el color de la cerveza. Ya sea importada o nacional, la malta es sometida a rigurosos análisis para verificar su calidad. En la Figura 2 se observan los diferentes tipos de semillas de malta.



**Figura 2. Granos de malta.**

<http://cervecerochapin.blogspot.com/2016>

### **2.1.2.2. Agua.**

El agua es una de las materias primas fundamentales y su calidad es de vital importancia ya que constituye de 90 al 96% de la cerveza. Generalmente se extrae de pozos profundos y debe ser apropiada para consumo humano (potable), además de contener algunos minerales que favorecen las reacciones llevadas a cabo en el proceso de elaboración.

### **2.1.2.3. Lúpulo.**

Es una planta perenne tipo enredadera, de la cual se utiliza en cantidades reducidas extraídas del racimo de flor femenina (Figura 3), lo que otorga el sabor y aroma característicos de la cerveza. En México el lúpulo se importa de países que tienen clima favorable para su crecimiento.



**Figura 3. Lúpulo en flor.**

[http://www.stiq.com.mx/?page\\_id=514/2014](http://www.stiq.com.mx/?page_id=514/2014)

#### **2.1.2.4. Levadura.**

La levadura de cerveza es un producto obtenido de la fermentación anaerobia de la cerveza formado, entre otros ingredientes, por hongos tipo *Saccharomyces cerevisiae*. La presentación comercial es líquida, tiene un elevado contenido en proteína de alto valor biológico y digestibilidad (mayor de 85%) y vitaminas del complejo B. Produce el alcohol y gas carbónico, jugando un papel muy importante en la mayor parte del sabor característico de la cerveza.

#### **2.1.2.5. Adjuntos.**

El arroz y la fécula de maíz son los principales adjuntos usados por sus propiedades las cuales complementan a la malta y ayudan a la brillantez y estabilidad coloidal de la cerveza. Mientras se prepara el mosto de malta se coloca arroz o maíz con agua caliente en una tina llamada hervidor. El arroz o el maíz y el agua se agitan hasta que el almidón de los granos se gelatiniza. El líquido caliente se agrega al mosto de malta. La temperatura de la mezcla tiene 68 grados centígrados, lo cual se denomina temperatura de conversión. A esta temperatura las enzimas de la malta convierten el almidón de la malta y de los otros cereales en azúcares fermentables. Sin embargo como se mencionó anteriormente existen otras fuentes ricas en almidón las cuales no han sido consideradas para ser utilizadas en el proceso de elaboración de cerveza, por ejemplo el plátano macho.

#### **2.1.3. ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO.**

El plátano macho, plátano verde, plátano hartón o plátano de guisar (*Musa paradisiaca* L.), es un fruto de la familia de las Musáceas (*Musaceae*), como el plátano o banana como se observa en la Figura 4. Es originario del Sudoeste Asiático, aunque lo largo de los años, su cultivo se ha extendido a muchas regiones de Centroamérica y Sudamérica, así como de África Subtropical. Constituye la base de la alimentación de muchas regiones tropicales, a nivel nacional Oaxaca es el tercer productor de plátano macho, pues su producción representa el 13% (35 mil toneladas anuales). Los carbohidratos del plátano macho son, por tanto, en su mayoría complejos, que se absorben gradualmente

en el organismo, o en forma de fibra. También presenta un contenido menor en azúcares, y prácticamente no contiene grasas ni proteínas. A nivel nutricional constituye un alimento energético, similar a otros vegetales como los tubérculos. Es una fruta con un elevado contenido de hidratos de carbono complejos (almidón) tales se pueden apreciar en la Tabla 1 realizada por Zamudio (2006). Es muy rico en minerales como potasio y magnesio, apenas contiene sodio y también aporta cantidades interesantes de vitaminas del grupo B, aunque la mayor parte se pierden durante su cocinado. Aunque este fruto es de gran importancia comercial lamentablemente existen pérdidas ante cosecha las cuales son devastadas debido a cambios climáticos como fuertes vientos y lluvias, teniendo pérdidas de hasta 500 toneladas anuales (SAGARPA, 2015).



**Figura 4. Plátano macho verde crudo.**

<http://www.guiadelacocina.com/ingredientes/p/platano-macho.html/2014>

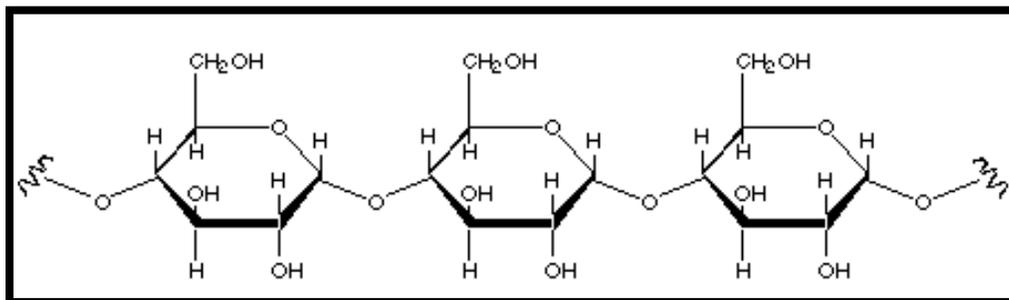
**Tabla 1. Composición química del almidón nativo de plátano macho.**

Determinación %	Almidón nativo
<b>Lípidos</b>	0.35 ± 0.01
<b>Proteínas</b>	2.06 ± 0.15
<b>Cenizas</b>	0.27 ± 0.03
<b>Humedad</b>	7.17 ± 0.17
<b>Almidón Total</b>	85.04 ± 0.01

Zamudio (2006).

El almidón es un componente con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables (Zhao et al., 1994). Debido a que el almidón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) en la industria alimentaria, es necesario buscar nuevas fuentes de extracción, ya que con una producción mundial de 48.5 millones de ton/año (FAOSTAT, 2001), existe una demanda insatisfecha del mismo.

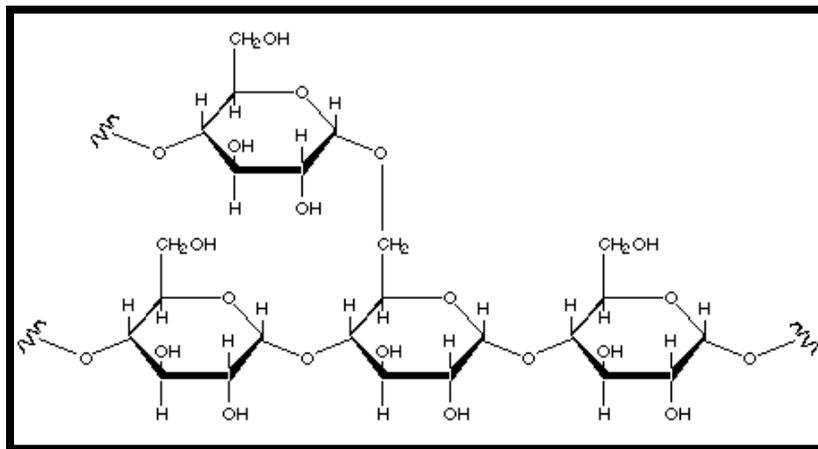
Estructuralmente, el almidón consiste en dos polisacáridos químicamente distinguibles: amilosa y la amilopectina, se puede apreciar su estructura química en las Figuras 5 y 6 respectivamente.



**Figura 5. Estructura de amilosa.**

<http://www.biologia.edu.ar/macromoleculas/azucar.htm/2004>

La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4), en el cual algunos enlaces  $\alpha$  (1-6) pueden estar presentes. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo (Knutzon et al., 1994). Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94 - 96% por enlaces  $\alpha$  (1-4) y en un 4-6% con uniones  $\alpha$  (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15 - 25 unidades de glucosa.



**Figura 6. Estructura de amilopectina.**

<http://www.pi-dir.com/quimica/industria/patata.htm/2004>

La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Guan et al., 2004).

#### **2.1.4. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL.**

El análisis químico de los alimentos comprende métodos de análisis básicos que permiten identificar la cantidad de nutrimentos que componen a un alimento, como son humedad, cenizas, proteína y grasa. La práctica de estos métodos varía según el alimento a analizar. De forma general se utilizan las técnicas oficiales de la AOAC, (Asociation of Oficial Analytical Chemists) (AOAC, 2002).

#### **2.1.4.1. Humedad.**

Existen varios métodos para determinar el contenido de humedad en alimentos, sin embargo la mayoría de los métodos por secados dan resultados óptimos si se sigue con cuidado la metodología. Estos métodos incluyen la determinación de la pérdida de peso debida a la evaporación de agua en el punto de ebullición o temperaturas cercanas a él. El método se basa en una determinación gravimétrica en la que se determina la diferencia de pesos obtenidos en una muestra antes y después de secarla a una temperatura constante.

#### **2.1.4.2. Cenizas.**

La ceniza de un alimento es el residuo inorgánico que queda después de quemar la materia orgánica. El valor de cenizas se puede considerar como un criterio útil para la identificación de la autenticidad de un alimento ya que se puede detectar la presencia de adulterantes. Su determinación consiste en llevar la muestra a una carbonización para después realizar la incineración en una mufla. El total de cenizas se obtiene por diferencia de pesos.

#### **2.1.4.3 Proteína.**

En la actualidad, existen varios métodos para la determinación de proteína, todos ellos basados en alguna de sus propiedades típicas, como pueden ser los patrones de absorción de las radiaciones electromagnéticas de los grupos aromáticos, la reactividad del enlace peptídico, su contenido de nitrógeno, entre otras. Uno de estos métodos es la determinación de colorimetría de Biuret el cual consiste en la formación de color púrpura-violeta con sales de cobre en soluciones alcalinas; el método de Lowry se basa en la determinación de espectrofotométrica que mide la formación del color debido a la reducción del reactivo fosfomolibdeno-volframato por aminoácidos como tirosina y triptófano presentes en las proteínas y el método de Dumas realiza una medición de nitrógeno desprendido después de una combustión (Badui, 2006). Sin embargo el método de Kjeldahl aún sigue siendo la técnica más confiable. Este método se basa en una digestión de la

muestra para reducir el nitrógeno orgánico hasta amoniaco, el cual debe ser alcalinizado, destilado y finalmente titulado obteniendo el porcentaje de nitrógeno. Esta determinación no incluye el nitrógeno inorgánico como nitratos y nitritos. El contenido de nitrógeno no proteínico es alto en ciertos alimentos como el pescado, frutas y verduras. Los factores de conversión de nitrógeno a proteína cruda se basan en el contenido promedio de nitrógeno de las proteínas encontradas en alimentos particulares, los cuales son recomendados por la FAO/OMS. En el caso del almidón de plátano macho este factor debe ser 5.7.

#### **2.1.4.4. Grasa.**

El contenido de grasa, también llamado extracto etéreo, puede estar formado por lípidos “enlazados” y lípidos “libres”; estos últimos básicamente consisten en grasas neutras (triglicéridos) y ácidos grasos libres los cuales pueden ser extraídos por disolventes como éter etílico o fracciones ligeras del petróleo, en cambio, los lípidos “enlazados” requieren de una hidrólisis con disolventes más polares para su extracción. El contenido de lípidos libres en los alimentos se determina sin mayor problema por extracción del material seco y molido con éter dietílico en un aparato de extracción continua. Existen dos tipos principales de extracción directa con disolventes, el tipo Bolton o Bailey-Walter o con extracción continua y tipo Soxhelt, el cuál proporciona una extracción intermitente (Ronald et al., 1996).

#### **2.1.5. PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN.**

En su conjunto, la amilosa y la amilopectina, le confieren propiedades específicas al gránulo de almidón, que generalmente se consideran para determinar la aplicación de los productos elaborados a partir de este. Algunas propiedades funcionales del almidón son las siguientes: Índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento.

#### **2.1.5.1. Índice de Solubilidad en Agua (ISA).**

El almidón es un biopolímero poco soluble debido a que la amilosa y la amilopectina se unen mediante puentes de hidrógeno, formando una estructura compleja, altamente organizada, que presenta una gran estabilidad a las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes, su solubilidad depende de la cantidad disponible de éstos polímeros en el medio (Singh et al., 2003).

#### **2.1.5.2. Poder de Hinchamiento (PH).**

El poder de hinchamiento de los gránulos de almidón está relacionado directamente con el tamaño y el contenido de amilosa y amilopectina. Cuando los gránulos de almidón se sumergen en agua, las moléculas de agua se difunden, al interior del gránulo por lo que se hincha y cuando se calienta, se incrementa el volumen llegando el almidón a perder su cristalinidad y la amilosa puede ser lixiviada notablemente formando así un gel (Russo et al., 2007). Cuanto más alto es el contenido de amilosa, más bajo es el poder de hinchamiento y menor es la fuerza del gel para la misma concentración de almidón (Thomas et al., 1999).

#### **2.1.6. GELATINIZACIÓN.**

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero se hinchan cuando se calientan en un medio acuoso. Inicialmente el hinchamiento es reversible y las propiedades ópticas del gránulo no se pierden; sin embargo cuando se alcanza una cierta temperatura el hinchamiento llega a ser irreversible y la estructura del granulo se altera significativamente, por lo tanto es la ruptura del orden molecular dentro del granulo del almidón manifestando cambios en propiedades como hinchamiento granular, fusión del cristal nativo, pérdida de birrefringencia y solubilidad del almidón (Boyer et al., 1987).

Una de las técnicas más utilizadas es la propuesta por Grace (1997) la cual consiste en someter una suspensión de almidón en agua a 85 °C hasta que se forme una pasta, tomando la temperatura de gelatinización directamente con un termómetro. Otra de ellas la propuesta por Paredes et al. (1994) en la que se

utiliza un calorímetro de barrido diferencial, de este se obtiene la temperatura de inicio ( $T_o$ ), temperatura de pico ( $T_p$ ), y temperatura final ( $T_f$ ) las cuales son analizadas directamente del software TA Instruments OS/2 versión 2.1.

### **2.1.7. ESTRUCTURA DEL GRÁNULO DE ALMIDÓN.**

El almidón se encuentra en la naturaleza en forma de partículas llamadas gránulos, que difieren en tamaño y forma. El origen botánico de los gránulos de almidón puede ser deducido a partir de su tamaño, forma y posición del hilio (punto de crecimiento del granulo). Bajo un microscopio de luz polarizada, se observa una cruz denominada birrefringencia o cruz de Malta, la cual indica la orientación radial de los cristales de almidón o el grado de orden molecular dentro del granulo. Para determinar la morfología de un almidón se pueden usar diversos métodos como microscopía electrónica de transmisión (MET), microscopía de fuerza atómica (MFA), microscopía confocal (MC) y microscopía electrónica de barrido (MEB), siendo esta última la más utilizada (Liu, 2005). En un microscopio electrónico de barrido se crea una imagen ampliada de la superficie de un objeto, su funcionamiento se basa en recorrer la muestra con un haz muy concentrado de electrones, estos electrones pueden dispersarse de la muestra o provocar la aparición de electrones secundarios. Ambos tipos de electrones son recogidos y contados por su dispositivo electrónico situado a los lados del espécimen. Cada punto leído de la muestra es equivalente a un pixel, por lo tanto a medida que el haz de electrones barre la muestra, se obtiene una imagen tridimensional real de la superficie del objeto (Ojeda-Sahagún, 1997).

### **2.1.8. HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN.**

Las enzimas son catalizadores ideales para la industria alimentaria debido a su eficiencia, acción específica y su alta purificación y estandarización. En los últimos años, se ha realizado la hidrólisis enzimática de almidón para la obtención de maltodextrinas y jarabes a nivel industrial, ya que se producen jarabes de mayor calidad, pues se tiene un control de la reacción, una mayor especificidad de los productos obtenidos, menores requerimientos energéticos y la ausencia de

sabores indeseables, lo cual ha desplazado a la hidrólisis ácida que era utilizada antes. Sin embargo, las condiciones de operación están limitadas por las propiedades de cada una de ellas, esto es, cada enzima actúa en condiciones de pH y temperaturas específicas, lo cual constituye un problema para la industria al incrementar los costos o al disminuir la eficiencia y calidad de los productos (Olsen, 1995).

Existen básicamente cuatro grupos de enzimas que transforman el almidón

- Endoamilasas
- Exoamilasas
- Enzimas desramificantes
- Isomerasas

La  $\alpha$ -amilasa se encuentra en microorganismos vegetales y animales superiores; tiene actividad sólo sobre los enlaces  $\alpha$ -(1,4) y es inactiva hacia los enlaces  $\alpha$ -(1,6) de la amilopectina. Esta enzima incrementa la solubilidad del almidón debido a que con la hidrólisis se obtiene toda una gama de productos como las  $\alpha$  – dextrinas provenientes de la amilopectina y oligosacáridos provenientes tanto de la amilopectina como de la amilosa. La amiloglucosidasa es de origen microbiano, proviene fundamentalmente de cepas de *Aspergillus niger*. Por otro lado, la  $\beta$ -amilasa se encuentra en semillas de los vegetales superiores, boniatos, avena, maíz y sorgo. Ambas enzimas actúan en forma externa sobre las cadenas de almidón. La amiloglucosidasa libera glucosa, fundamentalmente de la hidrólisis de las  $\alpha$ -dextrinas, actuando sobre los enlaces  $\alpha$ -(1,4) y  $\alpha$ -(1,6). La  $\beta$ -amilasa es utilizada en la producción de jarabes de maltosa.

### **2.1.9. HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN EN EL PROCESO DE MACERACIÓN.**

Según Fernaroli's, (1975) la maceración es un proceso enzimático, que son las enzimas en la malta las cuales convierten el almidón en azúcar fermentable. Dentro de la maceración se emplean diferentes intervalos de temperaturas, cada intervalo activa y desactiva diferentes enzimas y es por medio de las temperaturas que se controla el proceso para obtener resultados que se esperan. Básicamente

en la maceración se obtiene el extracto de mosto, este son las sustancias disueltas en el agua que se emplean para la maceración que provienen de la malta y adjuntos. La maceración de extracción sólido-líquido, dónde la materia prima posee una serie de compuestos solubles en el líquido de extracción que son los que se pretenden extraer. El proceso de maceración genera dos productos que pueden ser empleados dependiendo de las necesidades de uso, el sólido ausente de esencias o el propio extracto. La naturaleza de los compuestos extraídos depende de la materia prima empleada, así como del líquido de extracción. Existen dos métodos de maceración de acuerdo a la temperatura, caliente y frío.

#### **2.1.9.1. Maceración en Frío.**

La maceración en frío consiste en sumergir el producto a macerar en un recipiente con la cantidad suficiente de solvente para cubrir totalmente lo que se desea macerar. Esto se lleva a cabo por un lapso de tiempo largo, dependiendo de la materia prima que se vaya a macerar. Las ventajas de la maceración en frío consiste en la utilización de equipos simples que requieren mínimas cantidades de energía y en la capacidad de extraer la mayoría de las propiedades de lo que se macera (dependiendo del solvente) prácticamente en su totalidad sin alterarla por efectos de temperatura. Sin embargo se necesitan periodos de tiempo mucho más extensos para lograr una extracción adecuada.

#### **2.1.9.2. Maceración con Calor.**

El proceso consiste en el contacto entre las fases, el producto a macerar y el solvente, con la diferencia de la variación en la temperatura, en este caso pueden variar las condiciones de la maceración. El tiempo que se desea macerar varía mucho de la maceración en frío ya que al utilizar calor se acelera el proceso. La desventaja en calor es que no logra extraer totalmente pura la esencia del producto, ya que regularmente destruye algunas propiedades, es decir, muchas veces se trata de compuestos termolábiles que se ven afectados por la temperatura, además de que requiere equipos más sofisticados que permitan el control de la temperatura, sin mencionar el consumo energético que dicho proceso

implica. No obstante, los periodos de tiempos de extracción se reducen favorablemente.

### 2.1.10. TIPOS DE CERVEZA.

Existen dos tipos básicos de cerveza: ale y lager. Dentro de cada uno de estos tipos básicos existen subtipos con diferentes características que tienen una nomenclatura variable. En la Tabla 2 se presentan algunos nombres registrados en la literatura.

Según Kunze (1996), la fermentación es una etapa clave en el proceso productivo, en ella el mosto o caldo de cerveza se transforma en alcohol gracias a la intervención de levaduras especiales.

**Tabla 2. Tipos de cerveza y características sensoriales.**

Tipos de cerveza	Subtipos de cerveza
Ale	<p><b>Pale ale.</b> Es clara, con un alto contenido de lúpulo, es seca y muy amarga.</p> <p><b>Brown ale.</b> Es oscura, contiene poco lúpulo y es dulce.</p> <p><b>Bitter.</b> Es clara con un alto contenido de lúpulo y con mucho cuerpo.</p> <p><b>Mild ale.</b> Es semioscura, de sabor dulce, poco densa y amarga.</p> <p><b>Stout o Porter.</b> Es muy oscura, con mucho cuerpo, alto contenido de lúpulo, amarga, dulce o seca.</p>
Lager	<p><b>Pilsener, Hell o Pale.</b> Es clara, con alto contenido de lúpulo, seca y con poco cuerpo.</p> <p><b>Dortmunder.</b> Tiene características parecidas a la Pilsener pero con un menor contenido de lúpulo y sabor más suave.</p> <p><b>Munich, Donkel o Dark.</b> Es oscura, de sabor intenso, aromática, con bajo contenido de lúpulo, amargor ligero, dulce y con mucho cuerpo.</p> <p><b>Bock, Marzen o Marzenbier.</b> Tiene características parecidas a la</p>

---

Munich, pero con mayor contenido de alcohol.
--

---

Sánchez (2011).

### **2.1.11. TIPOS DE FERMENTACIONES.**

Es difícil saber cuántos tipos de cerveza existen en la actualidad. A su vez las variedades que existen de cada tipo de cerveza se cuentan, en algunos casos, por cientos. Sin embargo, todas ellas se pueden clasificar dentro de dos categorías: cervezas de fermentación baja (11-13 °C) y cervezas de fermentación alta, donde la temperatura se mantiene en 20 °C.

#### **2.1.11.1. Fermentación Alta o Cervezas Ale.**

La cerveza tipo *Ale* se originó en Baviera en la época medieval y posteriormente ha llegado a ser el tipo predominante en el mundo. Esta cerveza es, por tradición, el producto de la fermentación de las cepas “de superficie”, de *Saccharomyces cerevisiae*, denominada así debido a que una parte de la levadura sube hasta formar una densa “cabeza de levaduras” en la superficie del fermentador (Brown et al., 1989). La fermentación de la cerveza Ale ocurre de manera más rápida y a temperaturas de 20 °C aproximadamente, actuando la levadura en la superficie del mosto. Además, tienen un elevado porcentaje de alcohol y son muy aromáticas (De clerk et al., 1997).

La cerveza tipo *Ale* es distinta de la cerveza *Lager* por la disminución más rápida del extracto de azúcar en la etapa de fermentación, causada por el uso de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que permanece en suspensión, y por las temperaturas más altas utilizadas (20 – 23 °C) (Kunze, 1996).

Según Schmitdt et al. (1985) las levaduras “altas” se pueden diferenciar de las “bajas” por fermentar el trisacárido, la rafinosa hasta un tercio, al formar sólo fructosa y melibiosa, pues les falta la enzima melibiasa que sigue descomponiendo la melibiosa, en glucosa y galactosa, ambas fermentables.

### **2.1.11.2. Fermentación Baja o Cervezas Lager.**

La palabra *Lager* se deriva del vocablo alemán “lagern” que significa guarda o permanencia en bodega y se refiere al largo periodo de reposo de la cerveza para una lenta fermentación. Este proceso se realiza a bajas temperaturas (10 a 12 °C), y en él la levadura se mantiene al fondo del estanque permitiendo que el lúpulo y la cebada malteada dominen el aroma y sabor del producto (De clerck, 1997). Según Compton (1998), las levaduras “bajas” fueron empleadas por primera vez en Baviera para producir las cervezas llamadas *Lager* o Lagern. Estas levaduras se definen como aquellas que al final de la fermentación se van al fondo del tanque de fermentador. Las levaduras *Saccharomyces carlsbergensis* y *Saccharomyces cerevisiae* de cervecería se clasifican de acuerdo con su modo de acción. *S. carlsbergensis* es una levadura de fondo que no suele formar esporas, se adapta bien a la fermentación lenta a bajas temperaturas y es la preferida para elaborar cerveza tipo *Lager*. La levadura de *S. cerevisiae* produce una fuerte fermentación a temperatura elevada y tiende a flotar en la superficie. Es preferida para la elaboración de cerveza tipo pilsner.

Aunque no es tan conocido, México y la cerveza tienen una larga relación. La primera fábrica de esta bebida se construyó solo 20 años después de la caída de México-Tenochtitlán. En el siglo XX su uso fue ampliamente promovido por las empresas extranjeras entrantes a un mercado que se encuentra en constante movimiento. Ahora, hace unos diez años es evidente el auge que han tenido las cervezas artesanales en México; la proliferación de marcas, y la consolidación de muchas otras, es un hecho. Es por este motivo que se busca promover la elaboración de las mismas con otros ingredientes que puedan aportar características diferentes, ya que una de los principales motivos del consumo de la cerveza artesanal es el encontrar una amplia variedad de estilos, sabores y colores que una cerveza industrial no puede proporcionar (Rojas et al., 2000).

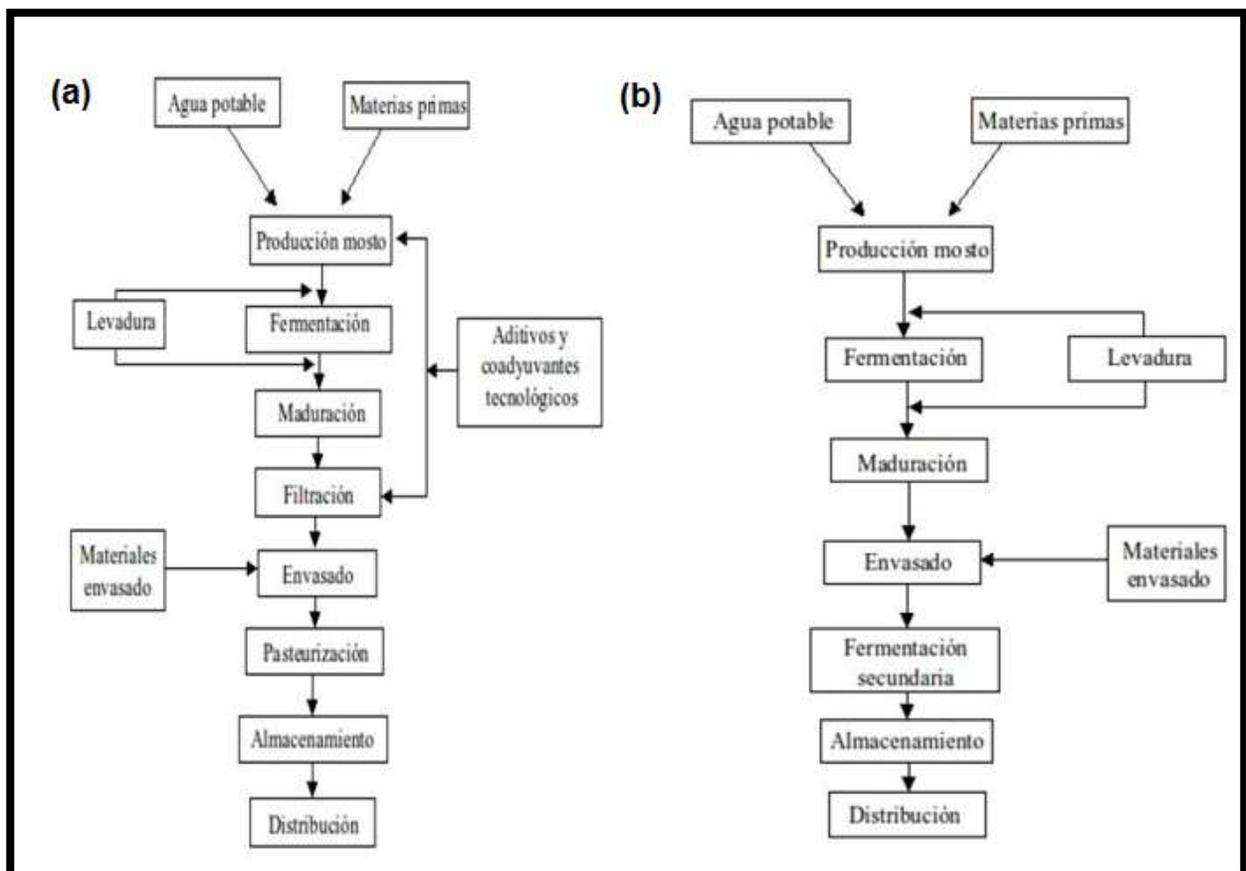
### **2.1.12. CERVEZA ARTESANAL.**

En la cerveza artesanal, no se añaden aditivos ni coadyuvantes tecnológicos y no se somete a procesos de filtración ni pasteurización, sufriendo una fermentación secundaria en botella (Sanchis et al., 2000). La principal diferencia entre una cerveza industrial y una artesanal radica en que en la artesanal está elaborada solo con los ingredientes tradicionales como lo son el agua, cereales malteados, lúpulo y levadura. A estas cervezas no se les agrega conservadores ni antioxidantes artificiales como el alginato de propilenglicol, usado para la espuma entre otros. La cerveza industrial es una bebida fruto de una fermentación alcohólica. Se fabrica mediante el uso de agua, levaduras seleccionadas, de un mosto procedente de malta de cebada, sólo o mezclado con otros productos amiláceos transformables en azúcares por digestión enzimática, lúpulo y/o sus derivados y aditivos y coadyuvantes tecnológicos, sometidos a un proceso de filtración y pasteurización. Las cervezas industriales se producen en base a una fórmula básica que busca ingredientes y procesos económicamente viables, para ello se utilizan equipos de grandes dimensiones, que producen cerveza a gran escala en menor tiempo. La cerveza artesana es modificada cuantas veces sea necesario por el maestro cervecero para dar con un sabor y un aroma característico, utilizando equipos más tradicionales que permiten un trato más lento y atento y en cuanto a los ingredientes, la cerveza artesana solo se elabora con productos naturales y nada diferentes de agua, malta de cebada, trigo o centeno, lúpulo y levadura. Se elabora en pequeñas cantidades para evitar almacenamientos prolongados ya que no se añaden aditivos ni coadyuvantes tecnológicos (Tintó et al., 2004).

En el procesado de las cervezas artesanales e industriales, existen algunas diferencias importantes. Por ejemplo, las cervezas artesanales no se pasteurizan, de modo que los aromas y sabores propios de la receta utilizada se conservan, así como la vida de la levadura que sigue produciendo modificaciones (vida útil corta). Tampoco sufren un proceso de filtrado, por lo que no se eliminan partículas en suspensión y se obtienen cervezas más turbias. Al no realizarse estos dos procesos, sufren una segunda fermentación en la botella, ya que la levadura sigue

teniendo sustrato que fermentar. Con esto se consigue saturar a la cerveza de gas carbónico y etanol, originando cervezas fuertes con una graduación alcohólica normalmente superior a las cervezas industriales.

A las cervezas industriales se les realiza una pasteurización, lo que garantiza una vida útil más larga, pero hace que se pierdan características organolépticas de la cerveza, además de eliminar las levaduras, por lo que no se producen modificaciones químicas. Sufren un proceso de filtrado, de modo que se eliminan todos los microorganismos y partículas en suspensión, originando cervezas más claras. Con estos procesos, es poco probable que se produzca una segunda fermentación en botella, ya que no existen levaduras que puedan seguir fermentando. La generación de gas carbónico es débil, por lo que se debe inyectar de forma artificial. La producción de etanol reside en la cantidad de azúcar que contiene la cebada o en los añadidos (Hellborg et al., 2009). Las diferencias que existen entre las cervezas industriales y las artesanales, en cuanto a proceso de elaboración se muestran en la Figura 7.



**Figura 7. Diagramas de flujo de una cerveza industrial (a) y una cerveza artesanal (b). (<http://myslide.es/documents/diagrama-de-bloques-de-la-elaboracion-de-cerveza.html/2016>)**

### **2.1.13. PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CERVEZA**

#### **2.1.13.1. Densidad Inicial y Densidad Final (°Brix).**

La densidad inicial es la cantidad de azúcar que está disuelta en el mosto antes de que empiece su fermentación, mientras que la densidad final es la cantidad de azúcar disuelto que presenta la cerveza cuando la fermentación ha finalizado. La densidad puede medirse mediante el uso de un densímetro, basándose en el hecho que todo cuerpo sumergido en un líquido, desplaza un volumen de líquido de igual peso que el propio. La densidad puede expresarse en grados plato (°P), °Brix o en densidad específica. La densidad específica es relativa al peso de un litro de líquido con el azúcar disuelto. La densidad específica del agua pura es 1,000, por lo que cuando se indica que un mosto tiene una densidad específica de 1,045 significa que hay 45 gramos de azúcar disueltos en un litro de líquido, ya sea al inicio o al final de la fermentación (Broderick, 1997). Estas variables están estrechamente ligadas con el grado alcohólico de la cerveza. El grado alcohólico es el número de volúmenes de etanol disueltos en 100 volúmenes de bebida. Conociendo la densidad inicial del mosto, se puede calcular el grado alcohólico del que va a disponer nuestra cerveza, porque se conoce la cantidad de azúcar que va a estar disponible para las levaduras y que va a ser transformado en alcohol y por consecuencia, conocer también la densidad final (Tintó et al., 2004). Normalmente, las cervezas artesanas tienen más grados que las cervezas industriales, se cree que es debido a la cepa de levadura utilizada, a la temperatura de fermentación primaria, aireación, dosis y condiciones de siembra de la levadura y a la calidad de las materias primas (Rajendram et al., 2009).

El °Brix se puede medir por densidad o por refractometría utilizando los siguientes instrumentos:

- Densímetro digital portátil
- Refractómetro digital portátil
- Densímetro digital de sobremesa
- Refractómetro digital sobremesa

#### **2.1.13.2. El pH en el Proceso de Elaboración de la Cerveza.**

El pH es un factor que indica el grado de acidez de un líquido. La necesidad de que las amilasas trabajen en un entorno óptimo para mejorar su eficiencia y obtener una proporción equilibrada de maltosa y dextrinas obliga al cervecero a controlar este parámetro, especialmente si es improvisado un tratamiento de agua o se dispone agua muy calcárea. La escala de pH va de 0 a 14 y el valor ideal es de 5.3, para la medida de pH se utiliza un medidor de pH digital. En el proceso, el cervecero en función de la receta deberá de corregir el pH y controlar las temperaturas y densidad del mosto que está macerando.

El pH es un factor de importancia para las reacciones bioquímicas que se desarrollan durante el proceso; en todos los pasos de la fabricación hay disminución del pH y los amortiguadores minerales del agua contrarrestan en parte este cambio. La influencia del contenido mineral del agua sobre el pH es importante durante la fabricación y algunos componentes minerales, ya que ejercen una influencia específica y estabilizadora de los iones de calcio sobre las amilasas. Los iones de calcio reaccionan con los fosfatos orgánicos e inorgánicos de la malta precipitando fosfatos de calcio, el resultado es la acidificación del mosto si el calcio está en forma de sulfato. El ión magnesio se encuentra raramente en dosis superiores a 30 mg/L. El ión potasio produce el mismo efecto, pero en menor cantidad. La mayoría de los demás iones como cloruros, sulfatos, sodio y potasio no tienen otra influencia que en el sabor de la cerveza (kunze., 1996). Según Otilio (2015) los principales instrumentos utilizados para medir pH en la elaboración de cerveza son las tiras de pH y el pH – metro (manual o digital).

### 2.1.13.3. Espuma.

La formación de espuma es uno de los factores más importantes en la evaluación de calidad que realizan los consumidores, ya que transmite la primera impresión del producto tan pronto es servido un vaso de cerveza. La espuma se forma por gases que se encuentran finamente repartidos en el líquido y materias sólidas, principalmente el CO<sub>2</sub> (De Clerck, 1997).

La espuma se puede definir como una dispersión de burbujas de gas suspendidas en el seno de un líquido viscoso o de un semisólido, y se forman por una adsorción de moléculas reactivas en la interface gas-líquido (Badui, 2006).

Según Fennema (1993), la espuma suele ser una dispersión de burbujas de gas en una fase continua, líquida o semisólida, que contiene un agente con actividad de superficie, soluble. Las burbujas de gas están separadas por una fase continua de capas delgadas de líquido denominadas laminillas. Para que se forme la interface gas líquido, se necesita energía y para protegerla contra la coalescencia de las burbujas de gas requiere de la presencia de sustancias con actividad de superficie que rebajen la tensión superficial y formen entre las burbujas de gas, una barrera elástica. Algunas proteínas forman películas dotadas de efecto protector, adsorbiéndose en la interface. En éste caso la laminilla situada entre dos burbujas adyacentes consta de dos películas de proteína adsorbida, separadas por una capa de líquido. Según Swistowiez (1977), los elementos de la formación de espuma son las proteínas de alto peso molecular derivadas de la malta y las isohumulonas provenientes del lúpulo. Las maltas demasiado modificadas o poco desecadas tienden a producir espumas pobres. Cuanto menor sea la relación de malta y lúpulo, más pobre será la espuma. La ecuación 1 es la más utilizada para evaluar la retención de espuma:

$$E = \frac{(V_T - V_L)}{V_L} = \frac{(V_{Ei})}{V_L} \quad (1)$$

Donde:

(V<sub>i</sub>) = Muestra de cerveza (mL).

(V<sub>L</sub>) = Volumen del líquido (mL).

$(V_T)$  = Volumen total (L).

$(V_E)$  = Volumen de espuma (mm).

$(E)$  = Capacidad espumante (mm).

$(V_{EI})$  = Volumen de espuma inicial después de 10 min. de agitación (mm).

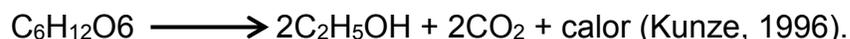
Así como por el método de agitación de “NIBEM” el cual se basa en la medición del tiempo en segundos, cuando el collar de espuma desciende 10, 20 y 30 mm (Rodríguez, 2003).

#### **2.1.13.4. Color.**

Según Kunze (1996), la aplicación de calor puede ser la causa de muchas reacciones complejas que comprometen a los carbohidratos como el color. La actividad del agua y los protones regulan el grado de liberación de azúcares reductores por hidrólisis a partir de sus conjugados glucosídicos en los alimentos. Después de la liberación ocurren muy pocas reacciones de los azúcares en medios acuosos a pH 4.0 aproximadamente. Sin embargo, si el medio vuelve a ser neutro o débilmente alcalino, entonces los hemiacetales pasan más rápidamente a la forma carbonilo de los azúcares reductores, es decir, a aldehídos y cetonas reactivas, las cuales se enolizan y comienzan una serie de reacciones de descomposición. Los grupos amino básicos de las proteínas, péptidos y aminoácidos se añaden rápidamente a los grupos carbonilo de los azúcares y se condensan. Entonces ocurre la reacción entre el grupo amino y el grupo del azúcar, conocida como reacción de Maillard, con la aparición de color pardo que es el punto inicial de la enolización de la glicosilamina. Cuando no participan compuestos amino en las reacciones de descomposición inducidas por el calor (sobre 100 °C), reciben el nombre de reacciones de caramelización. Uno de los métodos más utilizados para determinar color es la escala Lovibond. El método consiste en comparar el color del líquido con unos patrones de vidrio coloreado y el resultado se exprese en grados Lovibond (°L) que van del 0 al 20. Aunque hoy en día también se utilizan un método espectrofotométrico propuesto por la AOAC (2005).

### 2.1.13.5. Grados de alcohol.

Se forma durante la etapa de fermentación del mosto (proceso anaeróbico), mediante el cual la levadura convierte la glucosa en etanol y dióxido de carbono



Los principales productos de fermentación son etanol y  $\text{CO}_2$ , aunque también se forman numerosos subproductos del crecimiento de levaduras, que contribuyen de forma importante al perfume y aroma de la cerveza. Al respecto los ácidos orgánicos, alcoholes y ésteres son especialmente importantes (Brown et al., 1989). El porcentaje de azúcares fermentables en el extracto total determina el límite de atenuación, que establece el alcohol que contendrá la cerveza final. Y en el extracto soluble, que se denomina mosto, el 60% de las sustancias son fermentables (maltosa, maltotriosa, sacarosa, glucosa y fructosa), que serán utilizadas por la levadura para producir el alcohol y el  $\text{CO}_2$  durante la fermentación (Briggs et al., 1981). En la composición química del almidón, Palmer, (1980) menciona que, el endospermo es la estructura más importante dentro del grano de la cebada y constituye la mayor parte del grano, donde su principal componente es el almidón. El almidón se encuentra en los gránulos de dos formas diferentes; amilosa y amilopectina. La amilosa, es una molécula lineal de monómeros de glucosa (1000-4000) unidos mediante enlaces de tipo  $\alpha$ 1-4 y un peso molecular de aproximadamente 80.000. La amilopectina, también es un polímero de glucosa, de estructura ramificada y un peso molecular de aproximadamente 1.000.000. La amilosa, constituye un 30% del total del almidón presente en el endospermo, considerándose que el 70% restante corresponde a la amilopectina. Según Couso, (2010) los principales instrumentos para determinar el grado alcohólico son:

- Hidrómetro
- Alcoholímetro o alcoholómetro
- Picnómetro
- Ebulómetro

Así como los métodos más utilizados son:

- Cromatografía gas-líquido (GLC por sus siglas en inglés)
- Espectrofotometría

#### **2.1.13.6. Amargor.**

El impacto sensorial en el consumidor ocurre a través de las distintas modalidades de percepción del sabor como el gusto y la sensación en la boca, de la vista como el color, transparencia, formación y retención de espuma, y del olor como distintas variedades de aromas. Cada una de estas propiedades sensoriales y físicas es importante, y un defecto en cualquiera de ellas puede provocar el total rechazo del producto. Sin embargo, en la práctica el sabor es determinante en la elección del consumidor (Meilgaard et al., 1986). El lúpulo imparte el sabor típico a la cerveza debido a su contenido de aceites esenciales y resinas amargas. Además, contiene taninos y compuestos fenólicos los cuales coayudan en el proceso de clarificación (Rojas et al., 2000). El sabor amargo característico de la cerveza, proviene de la secreción glandular de las flores femeninas no fecundadas del lúpulo, la cual contiene dos compuestos clasificados como resinas; las humulonas o ácidos alfa lupulínico y las lupulonas o ácidos beta lupulínico (Schmidt-Hebbel, 1966). Las resinas del lúpulo pueden dividirse en blandas y duras. Dentro de las blandas se encuentran los ácidos alfa que son las de mayor importancia, ya que a partir de ellos se forman los compuestos que otorgan el tenor amargo. Los ácidos alfa son tres compuestos específicos: la humulona, cohumulona y adhumulona. Durante la ebullición al que es sometido el mosto dulce, etapa en que se agrega el lúpulo, los alfa ácidos sufren un cambio estructural llamado isomerización, originando los compuestos solubles amargos, los que se denominan genéricamente ácidos iso-alfa. Específicamente se forman la iso-humulona, iso-cohumulona e iso-adhumulona. Los ácidos beta, considerados resinas blandas, pueden también isomerizarse durante la ebullición para crear compuestos amargos, aunque, debido a que la solubilidad de los ácidos iso-beta en el mosto es muy baja, la contribución de éstos al sabor amargo es casi

despreciable (Cerdan, 2000). Así, la humulona es la sustancia más abundante y que se convierte durante la ebullición del mosto en iso-humulona (Grant, 1977).

Existen diversos métodos para poder determinar amargor, los cuales consisten principalmente en ecuaciones con relación al lúpulo. Algunas de ellas son las siguientes: Daniels, (1996) propone la siguiente ecuación 2:

$$IBU = \sum W * U * AA * 1000 / (V * F) \quad (2)$$

Donde:

W: Peso del lúpulo en gramos.

AA: % de alfa ácidos / 100.

V: Volumen después del hervor en litros.

F: Factor de corrección. Si  $G_{boil} < 1050$ ;  $F = 1$  Si  $G_{boil} > 1050$ ;  $F = 1 + [(G_{boil}/1000 - 1,050)/0,2]$  donde  $G_{boil} = \{[(OG/1000 - 1) * V / V_{pre\ boil}] + 1\} * 1000$

U: Factor de utilización.

Aunque la más utilizada es por el método de la AOAC (2005). La cual mide la absorbancia de la fase orgánica. En la cual las unidades de amargor corresponden a:  $^{\circ}BU = 50 \times A_{275}$

#### **2.1.13.7. Extracto de mosto original.**

El extracto primitivo (Ep) es el conjunto de ingredientes orgánicos que componen el mosto antes de la fermentación, con excepción del agua. El extracto primitivo o extracto de mosto original es un parámetro que nos clasifica el tipo y calidad de cerveza que está siendo objeto de análisis, a saber: cerveza liviana, cerveza común, cerveza especial, o cerveza extra. Es usual indicarlo en la etiqueta como  $^{\circ}B$  (Balling) o  $^{\circ}P$  (Plato). Está muy relacionado con la fuerza alcohólica y cuerpo de la cerveza. (E.B.C, 1975).

#### **2.1.14. EVALUACIÓN SENSORIAL.**

El análisis sensorial es una técnica que permite un conocimiento más completo de las características de los alimentos y bebidas. Hoy en día, se considera una herramienta imprescindible que permite obtener información sobre aspectos de la calidad de las cervezas a los que no se puede tener acceso con otras técnicas.

Las técnicas más utilizadas para evaluar la calidad de un alimento o bebida son:

- Pruebas afectivas
- Escala hedónica
- Prueba de aceptación
- Prueba discriminativa
- Prueba de comparación apareada simple
- Pruebas de comparaciones apareadas de Scheffé
- Pruebas de comparaciones múltiples
- Prueba de dúo –trío
- Escala estructurada
- Escala no estructurada

En la cual una escala no – estructurada es aquella en la que solamente se cuenta con puntos extremos o sea, mínimo y máximo y el juez expresa su apreciación de la intensidad de un atributo de un alimento marcado sobre una línea comprendida entre ambos extremos según su intensidad del producto (Cardama, 2009).

#### **2.1.15. TRABAJOS CIENTÍFICOS RELACIONADOS CON ESTA INVESTIGACIÓN.**

**García et al. (1998).** Realizaron un aislamiento de almidón de plátano, concluyendo que éste es el principal componente del plátano pues encontraron entre un 74 a un 80% del peso seco del fruto en estado inmaduro por lo que

realizaron diversos estudios en el que lo sitúan con un alto potencial de aplicación debido a sus propiedades funcionales, de digestión y a su proceso de obtención de bajo costo. El fruto sufre cambios importantes durante la maduración y el almacenamiento; además estudiaron que en gránulos de almidón de plátano, se encontró que los gránulos pequeños son más rápidamente convertidos en azúcares simples que los grandes, además identificaron tres enzimas  $\alpha$ -amilasa y 4  $\beta$ -amilasa, las cuales se encuentran activas durante todos los estados de maduración del fruto. En ese mismo estudio también se encontró que la actividad de estas enzimas aumenta significativamente, pero únicamente hasta que gran parte del almidón fue hidrolizado. La desaparición del almidón durante la maduración es relativamente rápido, ya que este es convertido en azúcares simples (glucosa, fructosa) los cuales son utilizados en la actividad metabólica del fruto. El conocimiento de esta hidrólisis es importante para elegir en qué etapa de desarrollo del fruto tendrá el mayor contenido de almidón para ser aislado.

**Sánchez-Rivera et al. (1999).** Realizaron un análisis de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de plátano de dos variedades denominadas “Macho y Criollo”, desarrolladas en el estado de Guerrero, mostraron que ambas presentaban una composición química similar, excepto en el contenido de cenizas que fue aproximadamente tres veces más alta en la variedad Macho que en el Criollo; también se encontraron diferencias en el valor azul (macho 0.18 y criollo 0.87), esto sugiere que existen diferencias en el contenido de amilosa y amilopectina. En este mismo estudio se encontró que el almidón de plátano obtenido de la variedad macho presentó una capacidad de hinchamiento mayor que el obtenido para el criollo; sin embargo, se encontró que la capacidad de retención de agua y solubilidad fue similar en ambos, también se encontró que este comportamiento aumenta con el incremento de la temperatura. Dos de las características más importante para determinar el uso industrial del almidón de plátano inmaduro son: la resistencia a ser digerido en el intestino del hombre y la inestabilidad a las temperaturas de congelación.

**Marín, (2013).** Evaluó los desechos post-cosecha de plátano macho, como fuente para la extracción y caracterización de almidón. Obtuvo un porcentaje de extracción de almidón nativo de hasta 13% con respecto a la pulpa. El almidón de plátano resultó tener características y propiedades fisicoquímicas que son comparables con las del almidón de maíz, temperatura de gelatinización de 68 °C, mientras que observó un decremento en el índice de absorción en agua del 49.23% así como 1.6% hasta 2.4% para índice de solubilidad en agua, así como la caracterización morfológica presento el tipo y el tamaño que lo identifica.

**Carvajal e Insuasti, (2010).** Elaboraron una cerveza artesanal a partir de almidón de yuca, Determinaron la mezcla entre los mejores tratamientos de cerveza de cebada y cerveza de yuca mediante los siguientes porcentajes cebada/yuca (85/15, 70/30, 50/50, 30/70, 15/85) respectivamente en las que evaluaron las propiedades sensoriales, determinaron además la cantidad de lúpulo requerido para la elaboración de cerveza artesanal de cebada y almidón de yuca y establecieron los niveles de azúcar para la elaboración de la cerveza artesanal con los dos adjuntos. Obtuvieron que la hipótesis alternativa planteada fue aceptada ya que los diferentes niveles de lúpulo tanto como el azúcar si influyeron en la elaboración de la cerveza artesanal de cebada y yuca, obtuvieron que durante el proceso de experimentación los niveles adecuados de lúpulo fueron el A2 (0.7 g/L) para cerveza cebada y para cerveza de yuca fue el A1 (0.9 g/L), de igual manera los niveles adecuados de azúcar fueron el B2 (7 g/L) tanto para cerveza de cebada como para la cerveza de almidón de yuca. Se concluyó que le mejor tratamiento de cerveza de cebada fue T5 (0.7 g/L de lúpulo + 7 g/L de azúcar), de acuerdo al análisis estadístico realizado a las variables: pH, °GL, Acidez, Densidad, CO<sub>2</sub>. Se determinó que el mejor tratamiento de cerveza de yuca fue T2 (0.9 g/L de lúpulo + 7 g/L azúcar). Todas las mezclas de cerveza de cebada y almidón de yuca fueron evaluadas en una escala de 1 a 5, correspondiendo el 5 a la muestra que mejor se ajusta a la característica deseada por el degustador de las cuales obtuvieron resultados positivos, por lo que llegaron a la conclusión que el almidón de yuca es excelente materia prima para la elaboración de cerveza.

**Romero, (2013).** Comparó cervezas elaboradas a partir de cebada malteada y cervezas de maíz malteado basadas en su perfil sensorial, la evaluación sensorial se llevó a cabo por medio del Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA por sus siglas en inglés), el cual permitió obtener un vocabulario para la apariencia, olor, sabor y consistencia. Los descriptores obtenidos fueron posibles indicadores de calidad para la caracterización de las propiedades sensoriales de las cervezas artesanales y la nueva cerveza de maíz además se puede utilizar en el desarrollo y estandarización de las cervezas de malta de maíz. Los compuestos volátiles fueron extraídos mediante Espacio de Cabeza - Microextracción en Fase Solida (HS/SPME por sus siglas en inglés), se identificaron con Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (GC/MS por sus siglas en inglés) y se cuantificaron por medio de Cromatografía de Gases con Detector de Ionización (GC/FID por sus siglas en inglés), los principales compuestos encontrados fueron ésteres y alcoholes los cuales confieren el sabor y olor específicos de estas cervezas.

El contenido total de antocianinas fue medido por medio del método diferencial de pH, el carácter antioxidante se cuantificó a través del contenido de fenoles solubles totales, y la actividad antioxidante se determinó basándose en la medición del radical libre DPPH<sup>+</sup>. Los resultados mostraron que la capacidad antioxidante se incrementó en las cervezas elaboradas con diferentes variedades de maíz. Las cervezas se caracterizaron utilizando quimiometría, y se mostró la diferencia debido a la materia prima utilizada en su proceso de elaboración. Por lo que los resultados obtenidos en la evaluación sensorial son posibles indicadores de calidad para la caracterización de las propiedades sensoriales de las cervezas artesanales y la nueva cerveza de maíz y se pueden utilizar en el desarrollo y estandarización de las cervezas de malta de maíz.

**Rodríguez, (2015).** Determinó el efecto de dos sustituciones de cebada (*Hordeum vulgare*) por quinua (*Chenopodium quinoa*) y de dos valores de pH inicial de maceración (5.0 y 6.0) en las características fisicoquímicas (grado alcohólico, capacidad y estabilidad espumante, densidad y pH final) y aceptabilidad general

de una cerveza tipo Ale. La evaluación estadística de las características fisicoquímicas mostró que existe homogeneidad de varianzas en todas las variables de estudio ( $p > 0.05$ ), presentándose efecto significativo tanto de la sustitución de cebada por quinua como del pH inicial de maceración sobre el grado alcohólico, la capacidad y estabilidad espumante y el pH final; con excepción de la densidad, sobre la cual sólo existió efecto significativo con la sustitución de cebada por quinua. La prueba de Tukey determinó que el mayor grado alcohólico (4.55%) se obtuvo con la sustitución de 25% - pH inicial de 6.0; además, dicho tratamiento obtuvo la mejor capacidad espumante (63%) al igual que el tratamiento con la sustitución de 50% - pH inicial de 6.0 (67%), siendo ambos estadísticamente iguales. En cuanto a la estabilidad espumante, los mejores resultados se obtuvieron con la sustitución de 25% - pH inicial de 6.0 y los dos tratamientos con sustitución de 50%, siendo los tres estadísticamente iguales; por otra parte, todos los tratamientos presentaron densidades y valores de pH final óptimos, con excepción del tratamiento con sustitución del 50% - pH inicial de 6.0, el cual sobrepasó el límite máximo permisible en lo que respecta al pH final. Determinó que el mayor grado alcohólico (4.55%) se obtuvo con la sustitución de 25% - pH inicial de 6.0; además, dicho tratamiento obtuvo la mejor capacidad espumante (63%) al igual que el tratamiento con la sustitución de 50% - pH inicial de 6.0 (67%), siendo ambos estadísticamente iguales. La prueba sensorial tuvo una aceptación de 80.5%.

**García, (2015).** Elaboró cerveza artesanal a partir de almidón extraído de dos tubérculos andinos, *Oxalis tuberosa* (oca) e *Ipomoea batatas* (camote), con la finalidad de otorgar valor agregado a estos productos andinos. Realizó un pre-ensayo con un tipo de almidón (oca) para determinar la formulación de mayor aceptación. Estableció tres formulaciones con base en la sustitución de malta por almidón en las proporciones de 25, 50 y 75%. Inició con la extracción del almidón y el análisis del mismo, posteriormente se elaboró la cerveza, utilizando las proporciones señaladas y se controló los parámetros de calidad durante el procesamiento. Seleccionando la mejor formulación mediante una encuesta de preferencia. La apariencia, cuerpo, color, aroma, sabor, frescura y sabor residual

de las bebidas, fueron evaluadas por panelistas semi-entrenados. En la siguiente etapa se establecieron un control (100% malta) y dos tratamientos, usando la formulación de mayor aceptación (50% de sustitución), variando únicamente el origen del almidón (oca y camote). Las cervezas obtenidas, el control y la cerveza artesanal comercial, fueron sometidas a un análisis físico, químico y sensorial. Los datos se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA) de un factor, cuando aparecieron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), se empleó la técnica de comparaciones múltiples mediante intervalos de confianza por el método de Fisher. Los valores de pH, acidez, grado alcohólico, contenido de CO<sub>2</sub>, y el análisis microbiológico de las formulaciones y el control cumplen con los requisitos de la norma ecuatoriana NTE INEN 2262. Obtuvo resultados positivos en la prueba de degustación. Se concluye que la cerveza artesanal elaborada es apta para el consumo humano, y podría ser comercializada; ya que el almidón de los tubérculos utilizados resultó ser útil como adjunto en la elaboración de esta bebida. Por lo que se recomiendan implementar otros productos ricos en almidón como adjuntos en este proceso.

### **2.1.16 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad la cerveza es altamente consumida a nivel mundial, en cuanto a México se refiere tiene un consumo per cápita menor a los 60 litros por persona al año. El mercado de cerveza en México lo controlan dos grandes empresas que son Grupo Modelo-Anheuser-Busch, por un lado, y Heineken-Cuauhtémoc Moctezuma, por otro, sin embargo, desde hace una década algunos pequeños y medianos emprendedores han empezado a elaborar cerveza artesanal.

Para la elaboración de cerveza se utiliza varios cereales tales como la cebada, maíz, arroz, etc. Sin embargo, se han excluido otras fuentes importantes de almidón y harinas como lo son la yuca, la malanga, y entre estos al plátano macho como adjunto para la elaboración de cerveza. Estos productos agrícolas contienen almidón y harinas que pueden ser transformados en azúcares fermentables los cuales serían indispensables para la elaboración de bebidas alcohólicas y en este caso para cerveza artesanal. La cerveza artesanal se ha posicionado en el gusto

de sectores de consumidores que buscan experiencias en nuevos estilos de cerveza, por lo que surge la necesidad de buscar el uso de adjuntos no convencionales que pudieran cumplir con esta necesidad. De acuerdo a los elementos anteriores se realizó y evaluó la elaboración de cerveza artesanal con almidón de plátano macho como adjunto no convencional estudiando sus efectos y características, así como su comparación con una cerveza artesanal tradicional.

### **2.1.17 OBJETIVOS**

#### **2.1.17.1 Objetivo General.**

- Determinar el efecto del almidón de plátano macho como carbohidrato fermentable y adjunto no convencional en la fermentabilidad del mosto para la elaboración de una cerveza artesanal

#### **2.1.17.2 Objetivos Específicos.**

- Obtener y caracterizar el almidón de plátano macho.
- Obtener un jarabe de glucosa a partir de almidón de plátano macho.
- Evaluar la fermentabilidad del mosto con el adjunto de almidón de plátano macho.
- Elaborar y caracterizar la cerveza artesanal a través del empleo de un adjunto no convencional por medio del almidón de plátano macho con 20, 30 y 40% de sustitución y comparar sus características fisicoquímicas con una cerveza artesanal tradicional

- Determinar el grado de aceptación la cerveza artesanal empleando un adjunto no convencional por medio de un análisis sensorial con escala no estructurada.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA.

El plátano macho se obtuvo en la Región de la Cuenca del Papaloapan, en el Municipio de San Juan Bautista Tuxtepec del Estado de Oaxaca, con los productores locales. El plátano macho fue adquirido en etapa de maduración 1 como se muestra en la Figura 8, con 10 días antes del corte, pues tiene mayor contenido de almidón en estado inmaduro. Se sometió a un proceso de lavado para eliminar todas las suciedades presentes en la superficie, luego se pelaron y se cortaron en presencia de abundante agua para facilitar la extracción del almidón.

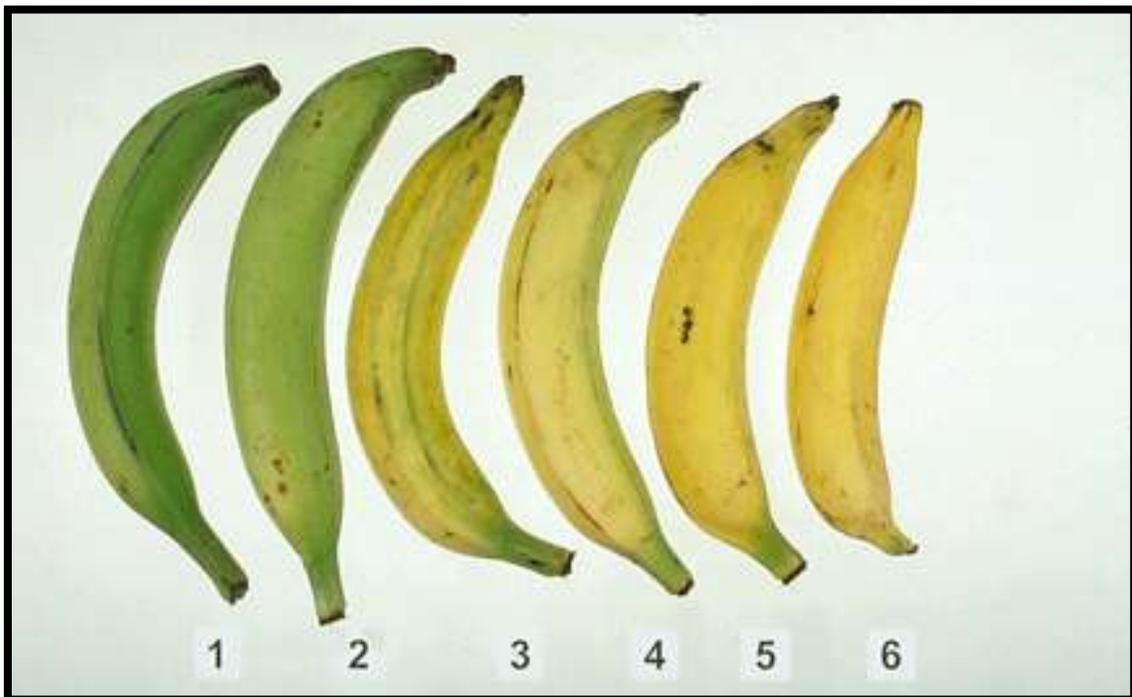


Figura 8. Etapas de maduración del plátano.

<http://vmasseyors.blogspot.mx/2011/02/platano-macho/2011>

### **3.2. AISLAMIENTO DE ALMIDÓN.**

Se utilizó el método propuesto por Flores-Gorosquieta et al. (2004). Se procesó una cantidad de plátano macho fresco, se lavó y se despulpó, ésta se cortó en cubos y se sumergió en una solución al 0.3% de ácido cítrico para evitar su rápida oxidación, posteriormente se molió en una licuadora industrial de 5 L (marca Oster de una velocidad, Monterrey, México), la pasta se tamizó con tamices (Tyller, TY5192C México) con malla No. 40 (tamaño de partícula de 0.420 mm) recuperándose la lechada, ésta fue nuevamente tamizada con mallas No. 100 (tamaño de partícula 0.149 mm) y 200 (tamaño de partícula 0.074 mm). La lechada se dejó sedimentar a temperatura ambiente por 24 horas. Se realizaron 3 lavados al sedimento hasta que el agua no presentó pigmentos. El sedimento se obtuvo por decantación y se secó a 50 °C en un secador de charolas (AEP, AEP-SEC-FR-120, México) por 8 horas aproximadamente. Por último el almidón recolectado se trituró con un mortero, se tamizó con una malla No. 100 y el tamizado se pesó en una balanza analítica (Citizen, CX 220, México) para obtener el rendimiento del aislado de almidón, este se selló al vacío en bolsas de polietileno y se almacenó a temperatura ambiente para las siguientes determinaciones.

### **3.3. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL.**

La caracterización química proximal consistió principalmente en la determinación del contenido de humedad, cenizas, lípidos, y proteínas contenidas en el almidón nativo de plátano macho. Esto se realizó empleando la metodología propuesta por la AOAC (2005) con las siguientes técnicas: humedad (925.10), cenizas (923.03), proteínas (920.87), grasas (920.39) como se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3. Métodos para análisis químico proximal del almidón de plátano macho.**

DETERMINACIÓN	MÉTODO	TÉCNICA
Humedad	AOAC 925.09B 2005	Esta técnica se basa en el secado de la muestra en la estufa y su determinación por diferencia de peso entre el material seco y húmedo.
Cenizas	AOAC 923.03 2005	Se emplea para determinar el contenido de ceniza en los alimentos o sus ingredientes mediante la calcinación en mufla. Se considera como el contenido de minerales totales o material inorgánico en la muestra.
Grasa Cruda	AOAC 920.39C 2005	Las grasas son extraídas mediante un extractor Soxhlet con éter de petróleo y evaluadas como porcentaje del peso después de evaporar el solvente.
Proteína Cruda	AOAC 920.87 2005	Esta técnica se realiza mediante el método Kjeldahl, mismo que evalúa el contenido de nitrógeno total en la muestra, después de ser digerida con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador de mercurio o selenio.

Fuente: AOAC (2005).

### **3.4. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA Y PODER DE HINCHAMIENTO.**

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría. Sin embargo, la abundancia de grupos hidroxilo en su molécula, induce la tendencia de este polisacárido a absorber agua cuando se expone a este líquido. Debido a la insolubilidad de los gránulos, sólo pueden absorber una cantidad relativamente baja de agua que va acompañado de un determinado hinchamiento y aumento en su tamaño el cual puede ser reversible. Cuando una suspensión acuosa de almidón se calienta, los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas se rompen y los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua durante el proceso de gelatinización. En estas condiciones se favorece el hinchamiento tangencial de los gránulos, caracterizado por un aumento en su tamaño y la pérdida de la birrefringencia debido a la ruptura del arreglo radial de las fracciones de amilosa y amilopectina (Singh et al., 2003). Se utilizó el método modificado por Sathe y Salunkhe (1981) para determinar el poder de hinchamiento (PH) del almidón. En un tubo de centrifuga de 10 mL previamente tarado, se añadió 0.5 g de la muestra en base seca y 5 mL de agua destilada, se agitó cada tubo en un vortex por 30 segundos. Se colocaron los tubos en un baño de agua a temperatura constante (60, 70, 80 y 90 °C). Al baño de agua se le adaptó un termómetro y se le proporcionó agitación constante para mantenerla uniforme durante 30 min. Transcurrido este tiempo, se retiraron los tubos del baño y se secaron en una estufa (BM/401, Riossa, México). Se centrifugó a 3250 rpm durante 15 min en una centrifuga (Vulcon Clinaseal, CS6C, EUA). El sobrenadante se decantó y se pesaron los gránulos hinchados. Posteriormente el sobrenadante se colocó en una charola de aluminio previamente tarada y se secó en una estufa a 80 °C durante 24 h. Después se pasó la muestra a un desecador con sílica gel y posteriormente se pesó en una balanza analítica (Citizen, CX 220, México) para determinar el índice de solubilidad en agua (ISA) solubilidad y el poder de hinchamiento mediante las ecuaciones 3 y 4.

$$\frac{\text{ISA: Peso del almidón soluble}}{\text{Peso de la muestra}} \times 400 \quad (3)$$

$$\text{PH: 100 - ISA} \quad (4)$$

### 3.5. GELATINIZACIÓN.

Las propiedades térmicas del almidón, como temperatura y entalpía de gelatinización se evaluaron con un calorímetro de barrido diferencial (Q 200, TA Instruments, EUA), calibrado previamente con indio, siguiendo la metodología propuesta por Paredes-López et al. (1994). Se pesaron 2 mg de muestra en base seca, dentro de una charola de aluminio (tres réplicas), posteriormente se le adicionaron 8  $\mu\text{L}$  de agua desionizada. La charola se selló herméticamente y se dejó equilibrar por espacio de 1 hora antes de realizar el análisis. Como referencia se utilizó una charola vacía. La muestra se sometió a un programa de calentamiento en un intervalo de temperatura de 30 a 140  $^{\circ}\text{C}$  y una velocidad de 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . La temperatura de inicio ( $T_0$ ), temperatura de pico ( $T_p$ ), temperatura final ( $T_f$ ) fueron obtenidas directamente del análisis del software TA Instruments OS/2 versión 2.1.

### 3.6. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.

Para el estudio de microscopía electrónica de barrido (MEB) las muestras no conductoras se recubrieron con una delgada capa de oro para hacerlas conductoras. La imagen se obtuvo rastreando la superficie de la muestra con un haz electrónico ultrafino. Las señales generadas se recolectaron, amplificaron y captaron en un tubo de rayos catódicos. Se realizó por el método reportado por Paredes-López et al. (1990). La muestra del almidón se adicionó sobre una cinta conductora de cobre de doble adhesión, la cual se fijó previamente en un soporte

de aluminio del microscopio electrónico de barrido JEOL (modelo JSEM 35CX; Japan Electronic Optical Limited, Japón). La muestra se cubrió con una capa de carbón de 30 nm de espesor depositada al vacío ( $10^{-5}$  Torr) en una evaporadora JEOL. Las muestras recubiertas con carbón se colocaron en el ionizador de metales JEOL, y se recubrieron con una capa de oro de 60 nm. Las muestras se observaron en el microscopio electrónico de barrido a un voltaje de 8 KV y se tomaron las micrografías.

### 3.7 OBTENCIÓN DE JARABE DE GLUCOSA DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO

Para la elaboración del jarabe de glucosa de almidón de plátano macho se colocaron en un recipiente de acero inoxidable 2.9 L de agua y el peso de almidón correspondiente a cada formulación (20, 30 y 40%) y se siguió la siguiente rampa de temperatura para la adición de las enzimas, adicionando al inicio al almidón de plátano macho la enzima  $\alpha$ -amilasa (Licuamil 340 por su nombre comercial) como se aprecia en la Figura 9.

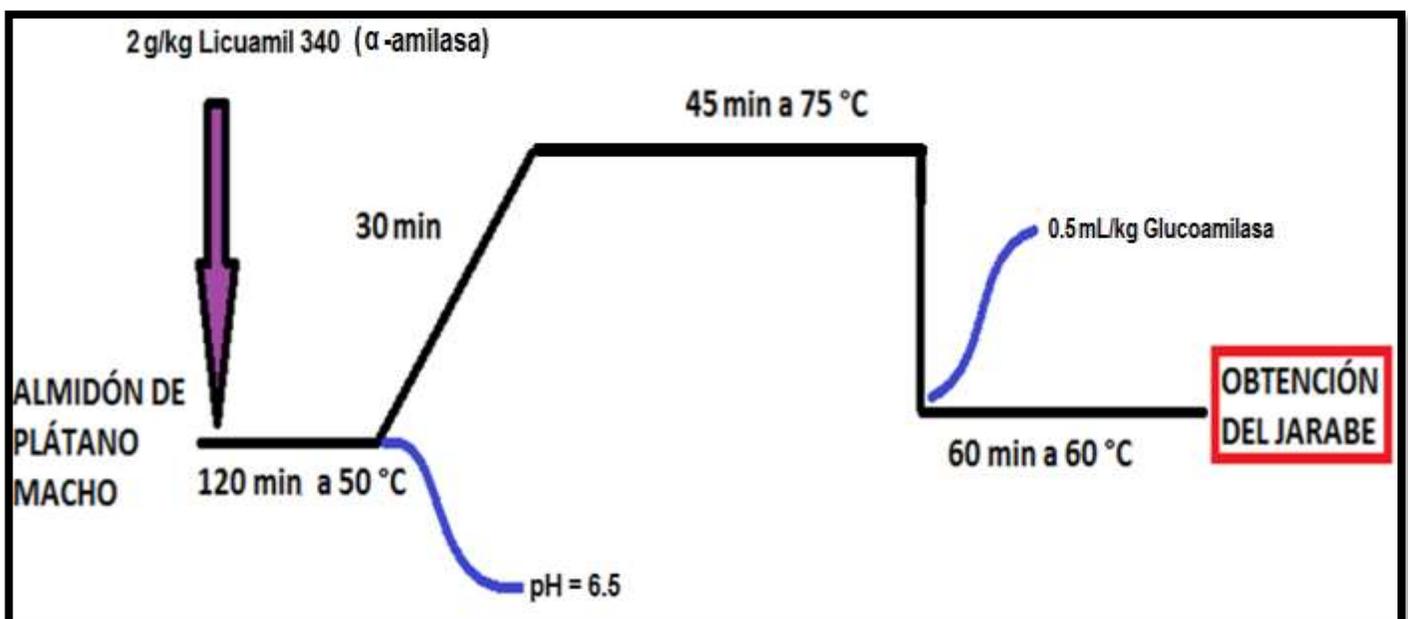


Figura 9. Rampa de temperatura para la obtención de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho.

## **3.8. ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL TRADICIONAL Y CON SUSTITUCIÓN DE JARABE DE GLUCOSA DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO.**

### **3.8.1. MOLIENDA DEL GRANO.**

El primer paso en la elaboración de cerveza tipo Ale, consistió en el pesado y el molturado de la malta, que se realizó con un molino de malta automático (Micro, modelo AMQMOD02, España). Con el molturado se abrió el grano sin romper su cáscara, de forma que ésta sirvió después como filtro. Esto permitió que el agua del macerado disolviera el almidón alojado en el centro del grano con facilidad y que las enzimas se propagaran libremente por el empaste, degradando el almidón en azúcares simples.

### **3.8.2. MACERACIÓN.**

El objetivo del macerado fue convertir el almidón de la malta contenido en el grano en azúcares (maltosa) para ser utilizadas por las levaduras. Este proceso es conocido como sacarificación y fue llevado a cabo por las enzimas, alfa y beta amilasas (diastasa) presentes en la malta. La operación se realizó en un tanque cortado longitudinalmente de acero inoxidable de 30 L. Se inició la maceración a 69 °C con 9.5 L de agua para posteriormente adicionarse la malta al 100-% para una cerveza artesanal tradicional. Para una cerveza artesanal con sustitución de la malta con un adjunto no convencional, éste fue agregado como jarabe de glucosa de almidón de plátano macho a diferentes concentraciones 20, 30 y 40%, para que finalmente fuera mezclado con el agua en la maceración y reduciendo la temperatura a 64 °C y manteniéndose ésta durante 1 h. Este proceso es para una cerveza artesanal tradicional y con sustitución de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho.

### **3.8.3. RECIRCULACIÓN Y LAVADO DEL GRANO.**

Después del macerado se obtuvo una solución rica en azúcares fermentables de sabor dulce y de tacto pegajoso; esto fue el mosto. También se obtuvo un residuo

sólido proveniente de la cascarilla del grano llamado bagazo. Se dio comienzo a la recirculación, hecho que consistió en sacar el mosto por la parte de abajo y añadirlo por la parte de arriba lentamente para no removerlo demasiado. Posteriormente se realizó el lavado del grano con agua entre 75 y 77 °C hasta obtener el mosto lavado con aproximadamente 3 °Bx.

#### **3.8.4. COCCIÓN DEL MOSTO.**

Posteriormente, se procedió a realizar el cocimiento del mosto a ebullición (para lo cual se colocó el mosto lavado en un recipiente de acero inoxidable de 50 L). Durante este tiempo fue agregado el lúpulo (14 g de Cascade y 15 g de Magnum por cocimiento) a diferentes intervalos de acuerdo a las características deseadas de la cerveza final tipo Ale. Pasando el tiempo de ebullición y las adiciones del lúpulo se recirculó el mosto y se dejó reposar 30 min con la finalidad de que sedimentarán las proteínas presentes. Después de este tiempo de reposo se enfrió haciéndolo pasar por el intercambiador de calor (CE, modelo 24, España) para posteriormente adicionarlo al fermentador y agregar la levadura para iniciar la etapa de fermentación de la cerveza.

#### **3.8.5. FERMENTACIÓN.**

Se agregó al mosto frío un sobre por cada cocimiento de 11 g de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Nottingham, Ale beer, United Kingdom), el tanque se selló y se dejó la válvula para la salida de CO<sub>2</sub>, la cerveza se mantuvo a una temperatura de 20 °C para que la levadura actuara de manera adecuada. La fermentabilidad fue evaluada cada dos horas después de haber sido sellado el tanque, se tomó la temperatura, pH y °Brix. Cuando la cerveza mantuvo constante los °Brix fue porque ésta había finalizado su fermentación.

#### **3.8.6. CARBONATACIÓN Y EMBOTELLADO.**

La cerveza fue carbonatada de manera forzada en un barril de acero inoxidable inyectando 10.88 kg de presión de CO<sub>2</sub> con un tanque de 9 kg (Oximex,

Eradicator, México) posteriormente fue embotellada en botellas ámbar y se llevó a cabo la pasteurización, colocando las botellas en un recipiente de aluminio con fondo falso de madera con una capacidad para 30 botellas, llenando de agua a temperatura ambiente el recipiente hasta dejar las botellas a 3 cm antes de que se cubrieran totalmente con el agua. Para iniciar la pasteurización se aplicó calor para llegar a 60 °C en 13 min, se dejó un reposo de 6 min a 60 °C. Pasando este tiempo se redujo la temperatura a 43 °C en 10 min, y luego a 36 °C en 6 min. Una vez finalizada la pasteurización las botellas son retiradas del agua, secadas y empacadas en cajas de cartón para ser almacenadas para los siguientes análisis.

### **3.9. PARÁMETROS DE CALIDAD A DETERMINAR EN LA CERVEZA ARTESANAL TRADICIONAL Y UNA SUSTITUÍDA CON JARABE DE GLUCOSA DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO.**

Los parámetros que se determinaron en el producto final fueron los siguientes: grados de alcohol, pH, color, extracto de mosto original, amargor, retención de espuma y grado de aceptación por consumidores.

#### **3.9.1. PRUEBAS FISICOQUÍMICAS.**

Las características fisicoquímicas de las cervezas se llevaron a cabo mediante los métodos que se presentan en la Tabla 4.

##### **3.9.1.1. Determinación del Grado Alcohólico en Cerveza.**

Para la determinación del grado de alcohol, se utilizó la metodología descrita por Schmidt-Hebbel, (2003). Primero se eliminó el anhídrido carbónico de la cerveza, agitándola dentro de un frasco Erlenmeyer a medio llenar, primero suave y después fuertemente a 20 °C. En un matraz de 250 mL se colocaron 100 mL de cerveza desgasificada, se agregaron 50 mL de agua destilada para diluir y solubilizar taninos y óxido de magnesio (también para evitar la producción de mucha espuma y para retener la acidez de la cerveza), se homogeneizó y

posteriormente se colocó el matraz en el destilador de cerveza (OSSIEAO, BC-HJ-741, EUA). Se recibieron 90 mL de destilado y se aforó a 100 mL con agua destilada y se midió el grado alcohólico con un alcoholímetro de Gay-Lussac a 15 °C.

**Tabla 4. Métodos para la determinación de las características fisicoquímicas de la cerveza.**

<b>Parámetro</b>	<b>Métodos</b>
Grados de alcohol	Schmidt – Hebbel (2003)
Ph	AOAC (2005)
Color	AOAC (2005)
Extracto de mosto original (EMO)	Martínez (2001)
Amargor	AOAC (2005)
Espuma	Nibem (1973)

### **3.9.1.2. Determinación de pH en Cerveza.**

Según AOAC (2005), el análisis se basó en la determinación de la concentración de iones hidrógeno con un medidor de pH calibrado a 4.0 y a 7.0 con soluciones tampón. Se temperó la cerveza a 20 °C. Se introdujeron los electrodos previamente enjuagados en la muestra de cerveza y se midió el pH con un potenciómetro (MED, SM-25CW, China).

### **3.9.1.3. Determinación de Color en Cerveza.**

Para determinar el color, según AOAC (2005) se utilizó el método espectrofotométrico. El método se basó en medir la absorbancia en un espectrofotómetro (Velab, VE – 5100UV, México) a una longitud de onda de 430

nm (lectura de color) y 700 nm (compensación de turbidez de la muestra), a 20 °C en la cerveza previamente desgasificada. Cuando fueron obtenidos los valores de absorbancia a 430 y 700 nm, los valores obtenidos de absorbancia a esta última longitud de onda permiten obtener un cálculo de color de muestra de cerveza libre de turbidez visible y posteriormente se realizó el cálculo para la determinación de color obteniéndose éste en unidades °EBC.

Las unidades de °EBC de color corresponden a: °EBC= 25 x A<sub>430</sub>

#### **3.9.1.4. Extracto del Mosto Original.**

El extracto de mosto original (EMO) se calculó mediante la ecuación 5, a partir de la graduación alcohólica y el extracto real (E.B.C, 1975). El extracto seco primitivo o EMO se expresó en % peso:

(5)

$$\frac{\text{EMO} = 2.065 \times A + E_r}{100 + 1.065 \times A} \times 100$$

Siendo:

A = Graduación alcohólica (g/100 g)

Er = Extracto real de la cerveza (g/100 g)

#### **3.9.1.5. Determinación de Amargor en Cerveza.**

La determinación se basó en el método químico. Se transfirieron 10 mL de cerveza fría (10 °C) carbonatada a un tubo de centrifuga de 50 mL, donde las sustancias amargas fueron extraídas con 20 mL de iso-octano en un medio acidificado con 1 mL de HCl 3N mediante centrifugación (ELMI, CM-6MT, China) a una velocidad de 3500 rpm durante 15 min. Luego, se midió la absorbancia de la fase orgánica que es la capa de iso-octano a una longitud de onda de 275 nm

mediante espectrofotómetro. Luego se obtuvieron las unidades de amargor en °IBU.

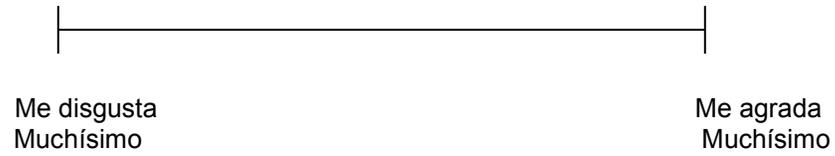
Las unidades de amargor corresponden a: °IBU = 50 x A<sub>275</sub>

#### **3.9.1.6. Determinación de Espuma en Cerveza.**

La determinación de estabilidad de la espuma se realizó de acuerdo al principio de “NIBEM”. Este se basó en la medición del tiempo en segundos o minutos con una cerveza terminada a una temperatura de 20 °C, en el cual, la cerveza fue vertida en un vaso de vidrio de 300 mL desde una altura de 20 cm, permitiendo la formación de un collar de espuma que llegara hasta el borde del vaso (sin derramarse). En este momento se empezó a tomar el tiempo de reducción de la espuma y se detuvo hasta que se formase un halo o anillo de espuma alrededor del vaso y en el centro del mismo se pueda ver claramente la cerveza.

#### **3.9.2. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA CERVEZA.**

El análisis sensorial es una disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a las propiedades o atributos de los alimentos y materiales, que son percibidas por los sentidos del gusto, tacto, olfato, vista y oído (Sidel et al., 1985). Para esta evaluación se presentaron 3 muestras de cervezas artesanales con diferentes proporciones de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho (20, 30 y 40% de sustitución de malta por este jarabe) y una cerveza control que fue la tradicional (100% malta). La evaluación se llevó a cabo a través de una escala no estructurada, la cual medía 10 cm de largo, correspondiente a cada muestra con los a las cuales se les asignó un código o clave alfanumérico. Los consumidores degustaron cada muestra y asignaron una marca (X o Punto) sobre la escala que extremos de “Me Disgusta Muchísimo” a “Me Agrada Muchísimo” como se muestra en la Figura 10. Estos atributos se evaluaron por medio de la siguiente escala:



**Figura 10. Modelo de escala no-estructurada de 10 cm.**

### **3.9.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.**

Los resultados obtenidos fueron estudiados mediante un análisis de varianza (ANDEVA). Con una prueba de comparación de medias por Fisher con un nivel de significancia del 95%, por medio del software Statistica 10.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 AISLAMIENTO DE ALMIDÓN.

Se procesaron 104.326 kg de plátano macho, se lavó y se despulpó, de los cuales 35.841 kg fueron de cáscara, 7.409 kg de raquis y 61.076 kg de pulpa fresca. En la extracción de almidón de plátano macho se obtuvieron 4.900 kg de éste con un rendimiento del 8.02% en base al peso de pulpa húmeda como se observa en la Figura 11, mientras que un 41.45% fueron equivalentes a los desechos. Este valor en el rendimiento de almidón fue menor a lo obtenido por Carlos, (2010) el cual obtuvo un rendimiento de 13.2%, por otra parte además reporto que del peso total del fruto entre 38 y 45% fue cáscara y cuando este valor superó el 40% del peso total del fruto de plátano macho se produjeron bajos rendimientos en el aislado de almidón, además de que se generó una mayor cantidad de desechos, lo cual se considera una desventaja para el uso industrial de este fruto. Por otra parte, el rendimiento obtenido también pudo ser atribuido al estado de madurez del fruto, así como el método obtención de almidón. En la Tabla 5 se muestran los valores de rendimiento obtenidos del aislamiento de almidón de plátano macho.

**Tabla 5. Rendimiento de almidón de plátano macho.**

<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>Plátano macho total</b>	<b>96.917 kg</b>
<b>Cáscara</b>	<b>35.841 kg</b>
<b>Pulpa</b>	<b>61.076 kg</b>
<b>Almidón</b>	<b>4.900 kg</b>
<b>Rendimiento</b>	<b>8.022%</b>



**Figura 11. Almidón recolectado.**

## **4.2. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL**

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos del análisis químico proximal realizado al almidón de plátano macho.

**Tabla 6. Resultados de análisis químico proximal del almidón de plátano macho.**

<b>Componente</b>	<b>Contenido (%)</b>
<b>Humedad</b>	<b>10.16 ± 0.52</b>
<b>Ceniza</b>	<b>0.22 ± 0.02</b>
<b>Grasa</b>	<b>3.47 ± 0.41</b>
<b>Proteína</b>	<b>2.19 ± 0.40</b>

Los resultados son el promedio de tres determinaciones ± desviación estándar.

El almidón de plátano macho presentó un contenido de humedad de 10.16%, valores que pueden ser comparados por lo obtenido por Zamudio-Flores et al. (2009), los cuales realizaron humedad al almidón de plátano variedad macho. Ellos obtuvieron un porcentaje de 8.30%. Sin embargo, los contenidos de humedad del almidón se encuentra dentro de las especificaciones industriales requeridas para el almacenamiento seguro de las harinas y almidón, para prevenir el deterioro de su calidad, aumentar su favorabilidad para uso en alimentación, menor ataque de insectos y hongos y mayor facilidad para uso comercial (Moorty, 2002). El contenido de grasa obtenido en este estudio fue de 3.47%, el cual fue menor a lo reportado por Zamudio-Flores et al. (2007) quien obtuvo 3.85% de grasa en plátano macho. Por otra parte, Ayo-Omogie et al. (2010) demostraron que el contenido de grasa en el almidón de plátanos Cardaba (*Musa ABB*) estuvieron correlacionados significativamente con la etapa de desarrollo del fruto. El contenido de proteínas obtenido en este análisis fue de 2.19%, a comparación con lo reportado por Zamudio-Flores et al. (2009) el cual obtuvo 2.06% de proteína en plátano macho, dichos valores aunque no son iguales son cercanos entre ambos. Cabe resaltar que estos valores se encontraron dentro de lo reportado por Morales et al. (1998) para plátano pelipita quien obtuvo un intervalo entre 2 al 3% de proteína. El contenido de ceniza que representaron en mayor proporción los minerales, puede variar debido al método de obtención del almidón de plátano macho, específicamente en el número de lavados realizados. Sin embargo, el valor obtenido de 0.22% en este estudio fue menor que lo reportado por Zamudio-Flores et al. (2009) el cual obtuvo 1.89% para almidón de plátano macho, así como en otras variedades y en diferentes estados de maduración.

#### **4.3. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA) Y PODER DE HINCHAMIENTO (PH)**

En la Tabla 7, se muestran los resultados obtenidos en este análisis para índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento en el almidón de plátano macho a

diferentes temperaturas, desde 60 °C con una rampa de 10 °C hasta llegar a 90 °C. Como se observa, el ISA se incrementó a medida que se incrementó la temperatura a la cual se calentó la solución de almidón, con un aumento desde un valor de 2.63% a 60 °C hasta 6.59% con 80 °C, sin embargo a los 90 °C se obtuvo el mayor valor de ISA de 7.82% observándose una diferencia mínima no significativa ( $p > 0.05$ ) con respecto a los 80 °C, ya que a esa temperatura el gel se encontró totalmente formado, el cual no dejó agua libre necesaria para la lixiviación de los sólidos solubles. Asimismo se planteó que esta característica se debe a la posibilidad de que las ramificaciones laterales (amilopectina) de las moléculas del almidón y un menor tamaño del gránulo, facilitaron la entrada del agua a los espacios intermoleculares, aumentando la solubilidad de los polímeros, siendo la amilopectina la de mayor proporción de disolución. Es por esto que incide en el aumento de solubilidad de las moléculas en el agua (Hwang et al., 1992).

En la Tabla 7 se observan también los resultados obtenidos para PH del almidón de plátano macho, el poder de hinchamiento se incrementó conforme se aumentó la temperatura, ya que a altas temperaturas la masa del almidón aumenta como consecuencia de la absorción de agua por los grupos hidroxilo de los polímeros de amilosa y amilopectina, sucedió una relajación progresiva de las fuerzas de enlace dentro del gránulo, lo que implicó el aumento del poder de hinchamiento al elevarse la temperatura. Hasta los 60 °C el poder de hinchamiento del almidón fue mínimo 1.87 g gel/g de almidón, incrementándose a medida que la temperatura ascendía, hasta un máximo de 7.23 g gel/g de almidón, a 90 °C. Los valores de PH entre 80 y 90 °C no tuvieron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, a temperaturas menores de 60 y 70 °C se encontraron diferencias significativas con las temperaturas más elevadas.

**Tabla 7. Resultados para índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento de almidón de plátano macho.**

<b>Almidón</b>	<b>PH (g de agua/ de almidón)</b>	<b>ISA (%)</b>
<b>60 °C</b>	<b>1.87 ± 0.00<sup>c</sup></b>	<b>2.63 ± 0.23<sup>b</sup></b>
<b>70 °C</b>	<b>3.78 ± 0.11<sup>b</sup></b>	<b>6.24 ± 1.51<sup>a</sup></b>
<b>80 °C</b>	<b>7.15 ± 0.20<sup>a</sup></b>	<b>6.59 ± 2.20<sup>a</sup></b>
<b>90 °C</b>	<b>7.23 ± 0.19<sup>a</sup></b>	<b>7.82 ± 0.39<sup>a</sup></b>

Los resultados son el promedio de tres determinaciones ± desviación estándar.

Este comportamiento tanto en índice de solubilidad en agua como en el poder de hinchamiento con respecto a la temperatura fue semejante a lo reportado por Sánchez-Rivera et al. (1999) el cual evaluó estas características funcionales en el almidón nativo de plátano macho. Sin embargo los valores puntuales fueron diferentes a los de este estudio, quizás debido a la variedad de plátano u origen y grado de madurez diferente.

#### **4.4. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO.**

Los resultados para la morfología del gránulo de almidón de plátano macho de acuerdo al tamaño observado en la micrografía de la Figura 12, en este estudio se obtuvieron para las formas elongadas tamaños en promedio de 35 y 38  $\mu\text{m}$  aproximadamente, mientras que para las formas esferoides fueron en promedio de entre 15 y 20  $\mu\text{m}$ . Se ha reportado que el tamaño de los gránulos de formas esferoides varia de 15 a 40  $\mu\text{m}$ , mientras que las formas elongadas presentaron longitudes de 20 a 50  $\mu\text{m}$  (Zang et al., 2005). El tamaño y forma de los gránulos depende de la estructura de la amilopectina. Los gránulos alargados tienen amilopectina con pocas ramificaciones pero largas mientras que los gránulos

pequeños y esféricos tienen mayor número de ramificaciones y cadenas cortas (Jane et al. 1999). Así, el origen botánico determina tamaño y forma de los gránulos. Además, esta característica repercute en algunas propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutricionales: gránulos grandes pueden generar viscosidad alta de pasta y los pequeños mayor digestibilidad (Biliaderis, 1991).



**Figura 12. Microfotografía del almidón de plátano macho.**

Estos resultados pueden ser comparados con lo reportado por García-Tejeda (2011) la cual observó que los gránulos de almidón de plátano macho nativo presentaron la misma forma, sin embargo, mostraron ciertas impurezas en la superficie del granulo como proteínas, lípidos y pigmentos, esto debido a su método de aislamiento, contrario a lo que sucedió en este estudio, pues es importante señalar que los gránulos de almidón no presentaron daños en la superficie, lo que indica que el proceso de obtención del almidón fue eficiente y adecuado.

#### **4.5. PROPIEDADES TÉRMICAS DE GELATINIZACIÓN.**

Al conocer el proceso de gelatinización es posible determinar la disponibilidad para el consumo humano, ya que el almidón gelatinizado tiene un mayor porcentaje de digestibilidad (Pineda-Gómez et al., 2011). Sin embargo, en este estudio es importante conocer la temperatura de gelatinización del almidón de plátano macho con el fin de evitar su gelatinización durante la elaboración del jarabe de glucosa y proceso de macerado. En la Tabla 8 se muestran los resultados de temperatura de gelatinización en el almidón de plátano macho, está suele ilustrarse en forma de un pronunciado pico endotérmico y la temperatura inicial  $T_o$  de 74.31 °C donde comienza el proceso de transición de fase y la muestra empieza un cambio estructural que puede resultar casi imperceptible.

**Tabla 8. Resultados de propiedades térmicas del almidón de plátano macho.**

	$T_o$ ( °C )	$T_p$ ( °C )	$T_f$ ( °C )	$\Delta H$ ( J/g )
<b>Almidón</b>	<b>74.31 ± 0.12</b>	<b>78.97 ± 0.17</b>	<b>84.12 ± 0.61</b>	<b>9.91 ± 2.29</b>

Temperatura de inicio ( $T_o$ ), Temperatura de pico ( $T_p$ ), Temperatura final ( $T_f$ ), entalpia total ( $\Delta H$ ). \*Los resultados son el promedio de tres determinaciones ± desviación estándar.

En esta primera transición de fase, el agua actúa como plastificante. A esta temperatura, los polímeros con bajo peso molecular, particularmente las moléculas de la amilosa, comenzaron a separarse del gránulo del almidón. A medida que la temperatura aumentó, los gránulos de almidón colapsaron hasta que finalmente la parte amorfa (amilosa) quedo totalmente solubilizada, mientras que la cristalina del almidón se mantiene en la solución acuosa (Pineda-Gómez et al., 2011).

La temperatura de pico  $T_p$  fue de 78.97 °C y es en este punto donde se registraron los valores más altos de absorción de calor y donde la muestra comenzó a pasar a un estado viscoso debido al inicio de la ruptura de los gránulos de almidón. Cuando el proceso finalizó estos regresaron a un estado en el cual no ocurren cambios en la fase ni en la composición de la muestra. La entalpía de

gelatinización  $\Delta H$  es la energía absorbida en el proceso, su valor fue de 9.91 J/g, que se calculó como el área bajo la curva del pico de gelatinización y la temperatura final del proceso  $T_f$  que fue de 84.12 °C. Esta transformación fue acompañada de cambios estructurales no reversibles, que fueron inducidos por este tratamiento térmico en el almidón, entre ellos: absorción de agua, hinchazón del grano, fusión de la parte cristalina, pérdida de la birrefringencia, y aumento en la viscosidad y solubilidad del gránulo. La fase inicial del proceso de gelatinización y el rango durante el cual se llevó a cabo son gobernados principalmente por la concentración del almidón en solución, el método de observación, origen y forma del gránulo, y la homogeneidad dentro del granulo (Rodríguez et al., 2003). Estos valores obtenidos para la temperatura de inicio, de pico, final, y la entalpía total se pueden comparar con lo obtenido por García-Tejeda, (2011) en almidón de plátano macho, el cual obtuvo una temperatura promedio de pico de 78.8 °C mientras que este estudio obtuvo 78.97 °C, al igual que la temperatura de inicio y temperatura final no existieron diferencias entre ambos resultados, a excepción de la entalpía en el que obtuvo 11.4 J/g y en este análisis se obtuvo un valor de 9.91 J/g, esta diferencia puede ser también un indicativo de la calidad y perfección del cristal (Tester, 2004).

#### **4.6. ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL CON SUSTITUCIÓN DE MALTA POR 20, 30 Y 40% DE JARABE DE GLUCOSA DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO.**

En la Tabla 9 se muestran los indicadores utilizados para la elaboración de cerveza artesanal con jarabe de glucosa de almidón de plátano macho al 20, 30 y 40% así como una cerveza artesanal tradicional de 100% malta. Asimismo, se observa la cantidad de malta utilizada para cada formulación, así como la cantidad de almidón, los °Brix y el volumen final obtenido de mosto en cada una de las fechas de elaboración con diferentes concentraciones de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho. En la Tabla 9 también se presenta la adición de malta

total para la cerveza tradicional, donde se utilizaron 5 kg, este valor fue disminuyendo conforme aumentaba la adición de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho. Por otra parte, ya que 1 °Brix equivale a 1 g de sacarosa por cada 100 mL de mosto, los °Brix disminuyeron con respecto a cada formulación pues entre menos jarabe adicionado menor fue el valor de °Brix presente en el mosto después del macerado. Los valores de °Brix aumentaron después de la cocción ya que tienden a concentrarse debido a la pérdida de agua que se presentó al hervir el mosto antes de que iniciara la fermentación. También se presentan los volúmenes iniciales y finales de cada una de las cervezas, como se mencionó anteriormente debido a que el mosto se llevó a ebullición por una hora este se concentró dejando valores más bajos en el volumen final de mosto.

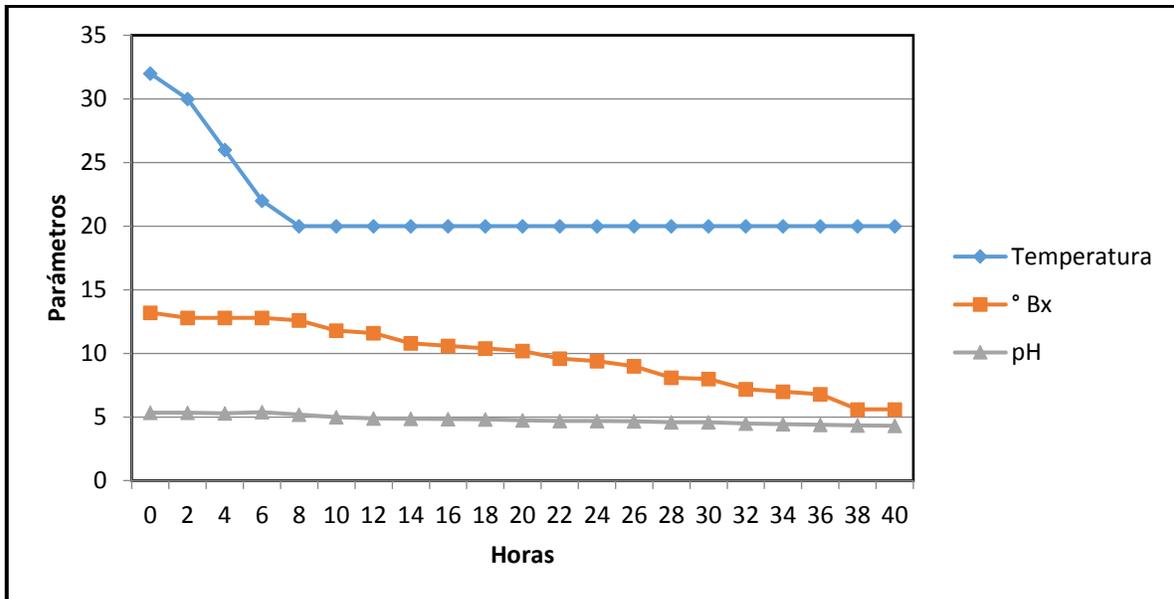
**Tabla 9. Valores de los indicadores de elaboración de cerveza artesanal.**

Fecha de elaboración	% Jarabe de glucosa	Indicadores de la elaboración de cerveza (mosto)						
		Almidón (kg)	Malta (kg)	°Brix Mosto Inicial	°Brix jarabe	°Brix Mosto Final	Volumen del mosto (L)	Volumen Total (L)
26/Oct/2016	40	2.0	3.0	8.2	9.7	12.20	25.2	21.2
15/Mar/2017	30	1.5	3.5	8.0	9.5	13.60	24.5	20.5
20/Feb/2017	20	1	4	7.9	9.5	13.20	24.3	20.4
16/Ene/2017	0	0	5	7.9	0	12	25	20

#### **4.7. CINÉTICAS DE FERMENTABILIDAD DE CERVEZAS ARTESANALES CON JARABE DE GLUCOSA DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO AL 20, 30 Y 40% DE SUSTITUCIÓN DE MALTA.**

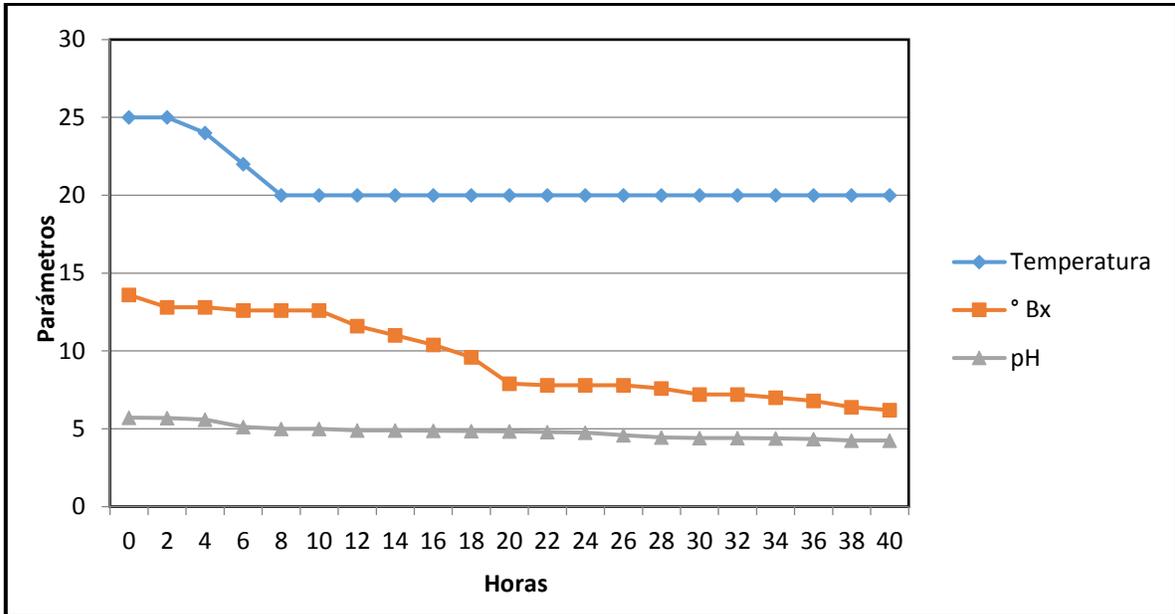
En las Figuras 13, 14 y 15 se observan las cinéticas de fermentabilidad de cada una de las cervezas con 20, 30 y 40% de sustitución de malta respectivamente

con el jarabe de glucosa de almidón de plátano macho, en la cual se evaluó la temperatura, los °Brix y el pH de la cerveza cada dos horas después de haber sellado el contenedor. De manera general, se observó que la temperatura inicial varió de entre 23 y 33 °C pues al ser pasado el mosto por el intercambiador de placas se encuentra a una temperatura promedio de 60 a 65 °C, esto se realizó con la finalidad de tener una temperatura ambiente para que al añadir la levadura, ésta inicie de manera eficiente, además de ser un método de esterilización, ya que el choque térmico no permitió que ningún microorganismo pasara a la fase de fermentación y pudiera provocar una contaminación a futuro en la cerveza, siendo la temperatura ideal de 20 °C por lo que el contenedor después de sellarse debe mantenerse en agua con hielo o agua fría. Al igual que la temperatura, los °Brix muestran valores elevados en las primeras dos horas de haber añadido la levadura, la tendencia normal de estas variables fue disminuir por efecto de la levadura, lo que ocurrió al transcurrir las horas. Cuando la fermentación finalizó los valores de °Brix empezaron a ser similares, por lo que la cerveza fue trasvasada a otro contenedor, se retiró la levadura sedimentada, y se retiró la válvula de salida de CO<sub>2</sub> y se selló el contenedor por 3 días, posteriormente se trasvasó a un barril de acero inoxidable para ser carbonatada y envasada. Solo el pH se mantuvo casi constante en las tres cinéticas obtenidas de acuerdo a las Figuras 13, 14 y 15. En la cinética de fermentabilidad para la cerveza artesanal que se muestra en la Figura 13 con un 20% de sustitución de malta por jarabe de glucosa de almidón de plátano macho se observó que la temperatura bajó desde 32 °C y se mantuvo constante a 20 °C en las primeras 8 horas de haber sido envasada la cerveza, por otra parte los °Brix fueron descendiendo de un valor inicial de 13.20 °Brix, conforme pasaban las horas observándose su mayor descenso entre las 37 y 38 horas quedando en 5.60 °Brix, siendo iguales a partir de ese tiempo, mientras que los valores de pH mostraron poca diferencia en toda la cinética, iniciando desde aproximadamente 5 y terminando en 4.31.

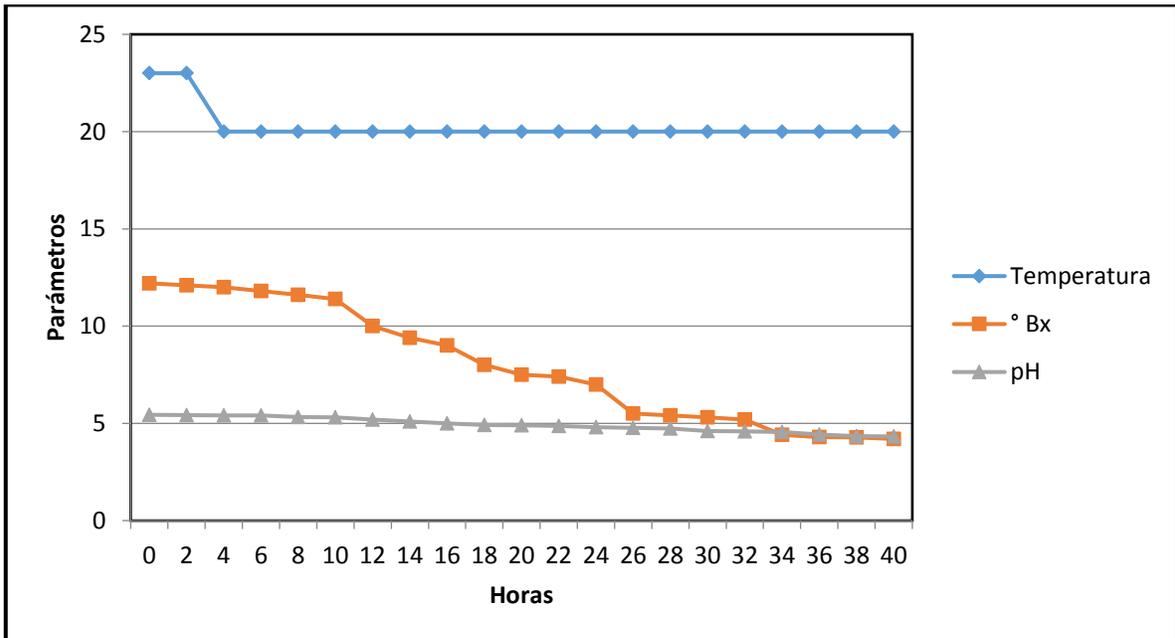


**Figura 13. Cinética de fermentabilidad para cerveza artesanal con un 20% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho.**

La misma tendencia se observó para la cinética de fermentabilidad en la cerveza artesanal con un 30 y 40% de sustitución de malta por jarabe de glucosa de almidón de plátano macho que se observan en las Figuras 14 y 15 respectivamente. En la cual se apreció que la temperatura, los valores de °Brix iniciaron con valores más altos y al transcurrir las horas estos descendieron indicando el fin de la fermentación. Mientras que el pH se mantuvo casi constante en las cinéticas.



**Figura 14. Cinética de fermentabilidad para cerveza artesanal con un 30% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho.**



**Figura 15. Cinética de fermentabilidad para cerveza artesanal con un 40% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho.**

En la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros que se analizaron a las cervezas artesanales finalizadas elaboradas con 20, 30 y 40% de sustitución de malta por jarabe de glucosa de almidón de plátano macho así como una artesanal con 100% malta. Los grados Brix permitieron saber la cantidad de azúcares disueltos por cada 100 mL de cerveza. Como se observó, la cerveza con mayor valor en °Brix fue la cerveza con 20% de sustitución de malta por jarabe de glucosa de almidón de plátano macho, así como la que obtuvo menor valor fue la cerveza con 40% de sustitución, sin embargo no existieron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) con respecto a los grados Brix tanto en la cerveza artesanal tradicional con las cervezas con sustitución de malta

Los pequeños cambios en los valores obtenidos en los grados Brix pueden ser ocasionados por varias razones, una de ellas es por el extracto de la malta, algún error en la molienda, variaciones mínimas en la temperatura de macerado o la cantidad de agua pueden ocasionar una ligera variación en los valores obtenidos para los °Brix.

Mientras que en los resultados de color la cerveza con 100% malta obtuvo un valor más alto de 11.37 (°EBC) que las que contenían el jarabe de glucosa de almidón de plátano macho que estuvieron en un intervalos de 9.18 a 9.23 (°EBC) con diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la cerveza artesanal tradicional y las cervezas sustituidas con el jarabe de glucosa de almidón de plátano macho. Debido a que en la primera de ellas, solo se utilizaron maltas base y especiales dando un color que tiende más al ámbar, caso contrario a las otras pues se sustituyó con el jarabe de glucosa de almidón. Sin embargo, entre estas cervezas elaboradas con sustitución de malta no se encontraron diferencias significativas de color ( $p > 0.05$ ). Según Briggs et al. (1981) la mayor intensidad de ebullición del mosto en la etapa de cocción, la mayor tasa de evaporación y el menor valor de pH del volumen final del mosto, son algunos factores que pudieron influir en el color encontrado en el presente estudio, ya que éstos no se encuentran controlados por el hecho de tratarse de una cerveza artesanal pues la cocción se llevó a cabo aplicando fuego de quemadores de gas. Estos resultados pueden ser

comparados con lo reportado por Rodríguez, (2003) quien analizó los parámetros de color en una cerveza artesanal tipo Lager obteniendo como resultados 13 y 15 °EBC, estos valores se acercan más a la cerveza artesanal tradicional tipo Ale la cual obtuvo 11.37 °EBC en este trabajo.

**Tabla 10. Resultados fisicoquímicos de las determinaciones realizadas a las cervezas artesanales con 100% malta, 20, 30 y 40% de adjunto de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho.**

PARÁMETRO	TIPOS DE CERVEZAS			
	100% Malta	40% Jarabe de glucosa de almidón de plátano macho	30% Jarabe de glucosa de almidón de plátano macho	20% Jarabe de glucosa de almidón de plátano macho
<b>Grados Brix</b>	2.30 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.20 ± 0.20 <sup>a</sup>	2.20 ± 0.15 <sup>a</sup>	2.40 ± 0.13 <sup>a</sup>
<b>Color (°EBC)</b>	11.37 ± 1.44 <sup>b</sup>	9.23 ± 0.24 <sup>a</sup>	9.20 ± 0.32 <sup>a</sup>	9.18 ± 0.19 <sup>a</sup>
<b>pH</b>	4.59 ± 0.13 <sup>a</sup>	4.33 ± 0.11 <sup>a</sup>	4.25 ± 0.10 <sup>a</sup>	4.31 ± 0.8 <sup>a</sup>
<b>Alcohol (% v/v)</b>	5.35 ± 0.14 <sup>a</sup>	5.52 ± 0.12 <sup>a</sup>	5.50 ± 0.15 <sup>a</sup>	5.48 ± 0.10 <sup>a</sup>
<b>Extracto de mosto original (%EMO)</b>	11.96±0.22 <sup>a</sup>	11.90 ± 0.16 <sup>a</sup>	11.88 ± 0.22 <sup>a</sup>	11.85 ± 0.17 <sup>a</sup>
<b>Unidad internacional de medida de amargor (°IBU)</b>	15.00 ± 0.18 <sup>a</sup>	14.56 ± 0.50 <sup>b</sup>	14.87 ± 0.22 <sup>a</sup>	14.96 ± 0.11 <sup>a</sup>
<b>Retención de espuma (min)</b>	4.45 ± 0.12 <sup>a</sup>	3.22 ± 0.22 <sup>b</sup>	3.40 ± 0.22 <sup>b</sup>	4.10 ± 0.10 <sup>a</sup>

Los resultados obtenidos son el promedio de 3 determinaciones ± desviación estándar. Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

El pH de las 4 cervezas artesanales no mostró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). Suárez, (2013) señala que para que el pH de la cerveza se sitúe en los valores óptimos (4.1 y 4.5) es necesario que se realicen los procesos previos adecuadamente, teniendo en cuenta la utilización de agua que no sea demasiado alcalina o pesada, la regulación del pH en la maceración de 5.5-5.9 para conseguir la máxima efectividad de las enzimas y la regulación del pH del mosto que ha de situarse entre 5.1-5.5 previo a la fermentación. De Mesones (2005) añade que la composición de sales del agua tiene influencia indirecta en su acción en la regulación del pH del mosto y de la cerveza, y un rango adecuado está entre 5.0 y 6.0 además indica que un pH muy elevado es desfavorable para reacciones importantes como la sacarificación ya que provoca un trabajo deficiente de las enzimas generándose menos azúcares, la coagulación de proteínas durante la ebullición es menos intensa, el amargor es más astringente (polifenoles) y se pone en riesgo la calidad microbiológica de la cerveza. Asimismo, un pH muy bajo conduce a la inactivación de las enzimas y a una posible contaminación por la presencia de bacterias lácticas. Los resultados obtenidos se pueden comprar con lo reportado por Rodríguez, (2003) el cual obtuvo un pH de 4.7 en una cerveza artesanal tipo Lager mientras que en este estudio el valor más alto de pH lo obtuvo la cerveza artesanal tradicional con 100% malta con 4.59 y el más bajo la elaborada con 30% de sustitución de malta por jarabe de glucosa con 4.25, asimismo menciona que durante el proceso de elaboración de cervezas artesanales normalmente este parámetro no se encuentra estandarizado por lo que los valores de pH pueden variar.

Al analizar los resultados obtenidos de porcentaje de alcohol (%v/v) de las cervezas artesanales tipo Ale, se observó que el mayor valor obtenido fue de 5.52% v/v en la cerveza con sustitución de malta por jarabe de glucosa de almidón de plátano macho al 40%, con un porcentaje mínimo de 5.35% v/v obtenido por la cerveza artesanal con malta al 100%. Sin embargo no hubo diferencias significativas entre estas 4 cervezas artesanales ( $p > 0.05$ ). Estos valores se

pueden atribuir a la cantidad de jarabe de glucosa añadido, logrando que la levadura produjera mayor cantidad de alcohol en vista de que tenía más azúcares fermentables, aunque existen otros parámetros que pudieron ser responsables de los altos valores en el grado alcohólico de las cervezas. Según Kunze, (1996), el tiempo de maceración se realiza durante dos horas a una temperatura constante de 65 °C, temperatura donde se consigue la mayor cantidad de azúcares fermentables, que tras la etapa de fermentación producen mayor cantidad de alcohol. Por otra parte Hudston, (1997), mencionó que el tiempo y temperatura de maceración es de 90 a 120 min, desde 64 hasta 72 °C. En el caso del presente estudio, el tiempo de maceración, fluctuó entre 70 y 80 minutos, lo que generó una alta concentración de azúcares fermentables para el proceso de fermentación. Sin embargo, estos valores son mayores a lo reportado por Kunze (1996), para cerveza artesanal tipo Lager, quien indicó que el contenido de alcohol puede fluctuar entre 4.2 - 4.4% v/v. El contenido de alcohol obtenido en la presente investigación fue más alto lo encontrado en un estudio de calidad realizado por el Servicio Nacional del Consumidor (S.N.D.C, 2003), para una cerveza tipo Lager de la Compañía Cervecería Kunstmann S.A., cuyo valor fue de 4.65% superior al grado alcohólico rotulado en los envases que era de 4.0%. Sin embargo, en cervezas artesanales el contenido de alcohol no hay una norma que establezca esta cantidad de alcohol en las cervezas tipo Ale y otras.

La cerveza que obtuvo el mayor valor de extracto de mosto original fue la cerveza con 100% malta con un valor de 11.96% así como la que obtuvo el menor valor fue la elaborada con jarabe de glucosa de almidón al 20% con 11.85%. Sin embargo, estos valores no mostraron diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las 4 muestras de cervezas al igual que los valores de alcohol, esto se debió a que los resultados obtenidos en ambas determinaciones están relacionados entre sí, pues el extracto de mosto original se obtiene al destilar el alcohol de la muestra de cerveza. Estos resultados pueden ser comparados con lo reportado por Mayer et al. (2015) quien elaboró cerveza con arroz malteado, obteniendo valores de 12.45%. Por otra parte la cerveza que presentó mayor amargor fue la elaborada con 100% malta con 15 °IBU mientras que la que obtuvo menor valor fue la

cerveza con sustitución de malta por 40% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho con 14.56 °IBU obteniéndose una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con este tipo de cerveza, mientras que en las otras dos cervezas con sustitución de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho (20 y 30%) conforme disminuyó la cantidad de malta, aumentaron también sus valores de amargor, no encontrándose diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre la sustitución de 20 y 30% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho con 100% de malta en las cervezas procesadas. Estos valores pueden atribuirse a la cantidad de azúcares aun disponibles en la cerveza (porcentaje de atenuación) así como la eficiencia de la levadura durante la fermentación que pudieron afectar al amargor final. Al respecto hay que señalar que según Grant, (1977), el porcentaje de alfa ácidos del lúpulo es determinante en la contribución del amargor en la cerveza. De igual forma Meilgaard et al. (1986), indican que las unidades de amargor (°IBU) están directamente relacionadas con el porcentaje de alfa ácidos y la cantidad de lúpulo a agregar. Sin embargo, en este estudio la adición de lúpulo no fue diferente en ninguna formulación, por lo que este parámetro se mantuvo de manera controlada. Por otra parte Schmid et al. (1995) señalaron que las cervezas con mayor tiempo de almacenamiento tienden a perder amargor, siendo el caso de la cerveza que presentó menor valor de amargor en este caso la elaborada con 40% de sustitución de malta por jarabe de glucosa de almidón de plátano macho pues fue la primer cerveza en elaborarse y los análisis se llevaron a cabo hasta que se finalizó la elaboración de todas las formulaciones, lo cual podría ser la causa de la diferencia con respecto a las otras formulaciones. Estos resultados fueron mayores a lo reportado por Rodríguez (2003), el cual analizó este parámetro en cervezas artesanales tipo Lager, obteniendo un promedio de 12.55 °IBU.

Los resultados para retención de espuma señalan que el mayor valor lo obtuvo la cerveza artesanal con 100% malta con 4.45 min. Mientras que la que obtuvo menor valor de retención de espuma fue la elaborada con 40% de sustitución de malta por jarabe de glucosa de almidón de plátano macho con 3.22 min, atribuyendo los resultados de este parámetro principalmente al contenido de proteínas de la malta, pues entre mayor contenido de malta en cada una de las

formulaciones se observó un aumento en el tiempo de retención de espuma. De los resultados obtenidos el tiempo de retención de espuma no muestra diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las cervezas artesanales con 100% de malta y 20% de sustitución de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho, mientras que en las otras dos formulaciones de sustitución de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho (30 y 40%) si presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el tiempo de retención de espumas debido a su menor contenido de malta con respecto a la de 100% malta. De Mesones (2005) señala que maltas ricas en contenido proteico ayudan a que la cerveza final disponga de cuerpo y espuma estable, sobre todo manteniéndola con sus mismas características de untuosidad y cremosidad. Por otra parte Barrientos (2011) señala que tan pronto como la espuma se forme, el líquido comienza a drenar de ella. En este fenómeno fisicoquímico interviene el contenido de polisacáridos en la cerveza, ya que éstos evitan que la espuma se disuelva en la cerveza; por otro lado, compuestos como los lípidos y una elevada graduación alcohólica influyen de manera negativa, desestabilizando las burbujas. Por otro lado, Rodríguez (2003) mencionó que la medición de la estabilidad de la espuma de cerveza por el método “NIBEM”, el que fue utilizado en el presente estudio, se juzga de acuerdo a valores referenciales, los que serían de:

Entre 180-200 segundos Mala estabilidad  
Entre 201-220 segundos Estabilidad satisfactoria  
Mayor a 221 segundos Estabilidad excelente

Por lo que la cerveza artesanal tradicional y la cerveza con sustitución de 20% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho tendrían una estabilidad excelente. Mientras que la cerveza artesanal con sustitución de 30% tendría una estabilidad satisfactoria y finalmente la cerveza artesanal con 40% de sustitución tendría una mala estabilidad.

## 4.8. RESULTADOS DE EVALUACIÓN SENSORIAL.

La evaluación sensorial se realizó con 62 personas que tienen el gusto de tomar cerveza de preferencia. Asignando los siguientes códigos a cada una de las cervezas.

CÓDIGOS:

KH936 = Cerveza artesanal con 40% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho

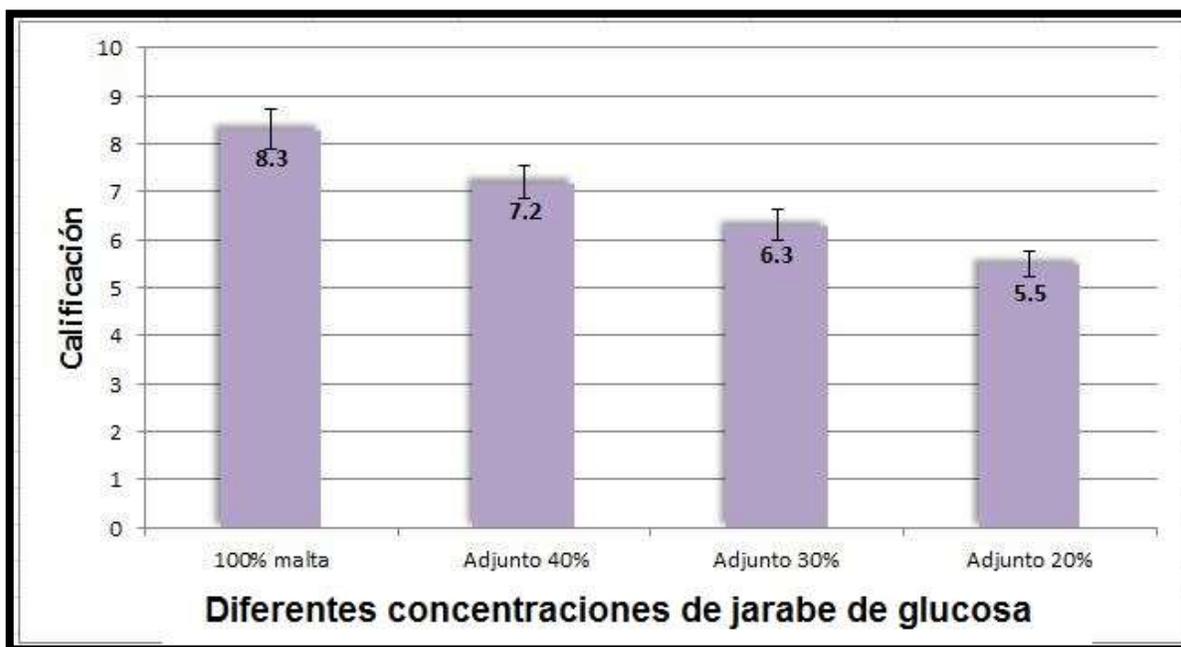
AL030 = Cerveza artesanal con 30% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho

AL020 = Cerveza artesanal con 20% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho

XE198 = Cerveza control (100 % malta)

En la Figura 16 se muestra la gráfica con los resultados obtenidos de la evaluación sensorial a las cuatro cervezas artesanales con 100% malta y con 20, 30 y 40% de sustitución de malta por jarabe de glucosa de almidón de plátano macho. Se observó que la cerveza artesanal con mayor aceptación fue la tradicional artesanal con 100% malta con una calificación final de 8.3, mientras que en segundo lugar lo obtuvo la elaborada con jarabe de almidón de plátano macho con una concentración del 40% con una calificación de 7.2, estos resultados pueden ser comparados con lo obtenido por Rodríguez (2015). El cual determinó el efecto de dos sustituciones de cebada (*Hordeum vulgare*) por quinua (*Chenopodium quinoa*) de 25 y 50%, obteniendo en su evaluación sensorial una aceptación general de 80.5%. Finalmente, se obtuvieron calificaciones de 6.3 de aceptación para la cerveza elaborada con 30% de jarabe de glucosa y con 5.5 de calificación y en último lugar a la elaborada con 20% de jarabe de glucosa de almidón de plátano macho, llegando a la conclusión que entre mayor sea la concentración de jarabe

de glucosa, mayor es su aceptación, por lo que se recomienda realizar formulaciones con sustituciones de malta por jarabe de glucosa de almidón de plátano macho en concentraciones más elevadas. Entre todas las cervezas artesanales elaboradas a las diferentes formulaciones hubieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).



**Figura 16. Gráfica con resultados de evaluación sensorial a las diferentes cervezas artesanales elaboradas.**

De igual forma, García (2015) elaboró cerveza artesanal a partir de almidón extraído de tubérculos andinos, *Oxalis tuberosa* (oca) e *Ipomoea batatas* (camote), con la finalidad de otorgar valor agregado a estos productos andinos. Realizó un pre-ensayo con un tipo de almidón (oca) para determinar la formulación de mayor aceptación. Él obtuvo en su prueba de degustación resultados positivos por lo que concluyó que la cerveza artesanal elaborada fue apta para el consumo humano, y podría ser comercializada al igual que los resultados obtenidos en este estudio; ya que el almidón de estos tubérculos, así como del plátano macho resultaron ser útiles como adjuntos en la elaboración de cerveza artesanal.

## 5. CONCLUSIONES

- ❖ El rendimiento de almidón de plátano macho aunque fue menor a lo esperado, resultó ser eficiente para la fermentación de una cerveza artesanal.
- ❖ El análisis químico proximal mostró valores bajos en proteínas, lípidos y cenizas a excepción de la humedad, lo que demostró que el método de aislado fue eficiente.
- ❖ El poder de hinchamiento y el índice de solubilidad en agua del almidón de plátano macho obtuvieron mayores valores a una temperatura a partir de 70 °C.
- ❖ La temperatura de gelatinización fue adecuada y optima para el manejo de la obtención del jarabe de glucosa del almidón de plátano macho y para el control del proceso de maceración.
- ❖ La morfología del almidón de plátano demostró gránulos uniformes y homogéneos característicos del almidón de plátano macho.
- ❖ Los parámetros evaluados y comparados de la cerveza con jarabe de glucosa de almidón de plátano macho al 40, 30 y 20% contra una artesanal tradicional 100% malta no resultaron tener diferencias significativas en cuanto a grados brix, amargor, pH, %EMO y % alcohol.
- ❖ Los parámetros evaluados y comparados de la cerveza con jarabe de glucosa de almidón de plátano macho al 40, 30 y 20% contra una artesanal

tradicional 100% malta que presentaron diferencias significativas fueron: Grados Brix, Tiempo de retención de espuma y color.

- ❖ La evaluación sensorial indicó que la cerveza con mayor aceptación fue la elaborada artesanal tradicional con 100% malta, mientras que la sustitución de malta por jarabe de almidón de plátano macho al 40% obtuvo el segundo lugar, por lo que podría ser factible realizar otra formulación con 50% malta y 50% jarabe de glucosa de almidón.
  
- ❖ Como conclusión general se pudieron obtener azúcares fermentables a partir del almidón de plátano macho, lo cual permitió utilizarlo como adjunto en la elaboración de una cerveza artesanal con una aceptación positiva por los consumidores al menos en la elaborada con 40% de jarabe de glucosa de almidón.

## 6. REFERENCIAS

- AOAC 2002, Official Methods of Analysis. 16a edition. Ed. Association of Official Analytical Chemists, international Gaither stourg, E.U.U.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2005. Official Methods of analisis. 12° edición. The Association: Whashington, D.C.942 p.
- Alaniz-Villanueva O. G. (2008). Adición de residuo de la industria cervecera al ensilaje de maíz como alternativa de forraje para ganado. Instituto Politécnico Nacional. Centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional unidad Durango. 17-18 Chemists, St. Paul: American Association of Cereal Chemists. 10TH ed vol. II.
- Ayo-Omogie, H. N.; Adeyemi, I. A.: y Otunola, E. T. 2010. Effect of ripening on some physicochemical properties of cooking banana (Musa ABB Cardaba) pulp and flour. Int. J. Food Sci. Technol. 45:2605 - 2611
- Badui D.S. 2006, Química de los alimentos, Ed. Alambra Mexicana, 2da Edición pp. 151-153.
- Barrientos, M. W. (2011). Evaluación del efecto de un serpentín helicoidal sobre la relación espuma – cerveza (tipo Lager) y sobre el flujo de cerveza en un dispensador de cerveza artesanal de barril. Universidad de San Carlos. Nueva Guatemala de la Asunción, Guatemala.
- Biliaderis, C. G. (1991). The structure and interactions of starch with food constituents. Can. J. Physiol. Pharmacol. 69: 60-78.
- Boyer, D. C, and Shannon, C. J: 1987. Carbohydrates of the kernel. Cap 8. In: Corn Chemistry and Technology. Eds. (Watson, S.A and Ramstand, P.E.) American Associattion of Cereal Chemists, Inc. St. Paul. Min
- Briggs, D., Hough, J., Stevens, R., y Young, T. 1981. Maltin and Brewing Science. Volume I: Malt and Sweet Wort. 2°edición. Chapman and Hall, London. UK. 387 p.
- Broderick, H. M. (1997). El cervecero en la práctica. MBAA, Lima, Perú.

- Carlos-Amaya, F. (2010). Propiedades fisicoquímicas y de digestibilidad de almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L.) sometido a una modificación dual. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Yautepec, Morelos. Tesis de Maestría. Pp.50.
- Carvajal Martínez e Insuasti Andrade. (2010). Elaboración de cerveza artesanal. Universidad Técnica del Norte. Pag. 22 Ibarra, Ecuador.
- Cerdan, M. (2000).[http:// www.cerveceros caseros.com.ar/infoellupulo1.htm](http://www.cerveceros caseros.com.ar/infoellupulo1.htm). Accessed 08/03/2002.
- Compton, J. 1998. El Cerveceros en la práctica. Segunda Edición. Asociación de Maestros cerveceros de las Américas, Madison, Wisconsin. 355 p.
- Daniels Van der Saar. (1996). Designing Great Beers, Brewers Publications.
- De Clerck, J. 1997a. A Textbook of Brewing. Volume One. Chapman and Hall, London. 650 p.
- De Mesones, B. (2005). Maestro cerveceros. Universidad Versuchs - und Lehranstalt für Brauerei (VLB). Berlín, Alemania.
- European Brewery Convention (EBC). 1975. "Analytica – EBC", Tercera Edición. Le Comité des Analyses de l' EBC, Zurich.
- Couso, S. 2010. Métodos para la determinación de etanol en bebidas. [http://www.vinodefruta.com/medicion\\_de\\_alcohol\\_marco.htm](http://www.vinodefruta.com/medicion_de_alcohol_marco.htm). Acceso 01/06/20017.
- FAOSTAT (2001). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Database. Roma, Italy.
- Fernaroli's, G. (1975). Handbook of flavor ingredients, Volume I. New York: CRC Press.
- Fennema, O. 1993. Química de los alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España. 1095 p.
- Flores-Gorosquieta, E. (2004). Obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de plátano empleando un reactor enzimático a nivel planta piloto. Tesis de Maestría. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional. Yaucatepec, Morelos, México. Pp. 34.

- Galarza M. J. M., Miramontes P. M., Muñoz P. D. y Hernández R. G. 2004. Situación actual y perspectiva del maíz en México. Sagarpa. Pp. 60-65.
- García B. K. B. (2015). "Elaboración de cerveza artesanal a partir de almidón extraído de tubérculos andinos" Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Facultad De Ciencias.
- García, E. & Lajolo, F. M. 1998. Starch transformation during banana ripening: The amylase and glucosidase behavior. *Journal of food science*. 53 (4): 1181-1186.
- Garcia-Tejeda Y. V. (2011) Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional.
- Gastronomía y Cía. (2009) La harina de plátano macho. <http://www.gastronomiaycia.com/2009/10/13/harina-de-platano/>
- Goñi I., García-Alonso A. and Saura-Calixto F. 1997. A starch hydrolysis
- Guan, J., Hanna, A. M. (2004). Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. *Biomacromolecules*, v. 5, p. 2329-2339, procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research* 17: 427-437.
- Grace, M. R. 1977. Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. 116 pp.
- Grant, H. 1977. El Cerveceros en la práctica. Segunda Edición. Asociación de Maestros cerveceros de las Américas, Madison, Wisconsin. 164 p.
- Hellborg, L., J. Piskur (2009). Chapter 7: Yeast diversity in the brewing industry. *Beer in health and disease prevention*. Elsevier. USA.
- Hudston, H. 1977. El Cerveceros en la práctica. Segunda Edición. Asociación de Maestros cerveceros de las Américas, Madison, Wisconsin. 150 p.
- Hwang, J. y I. Kokini; (1992). Contribution of the side branches to rheological properties of pectins, *Carboh, Polym*, 19(1), 41-50.
- Jane, J., Y. & Chen, L. F. Lee, A. E. McPherson, K. S. Wong, M. Radosavljevic, and T. Kasemsuwan. 1999. Effects of amylo-pectin branch

chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chem.* 76: 629-637.

- Kunze, W. 1996. *Technology brewing and malting*. Séptima Edición. Editorial VLB Berlín, Verlagsabteilung. Germany. 726 p.
- Knutzon, C. A.; Grove, M. J. (1994). Rapid method for estimation of amylose in maize starches. *Cereal Chemistry*, v. 71, n. 5, p. 469.
- Liu Q. 2005. Understanding starches and their role in foods. In: *Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties, and Applications*, Cui S. W. (Ed.). CRC Press, Chapter 7, pp. 309-349.
- Linko, M., Haikara, A., Ritala, A., Penttilä, M. (1998). "Recent advances in the malting and brewing industry". *J. Biotechnol.* 65, 85-98.
- Marín C. M. (2013). "Extracción, caracterización y modificación de almidón de plátano, producto de desecho post-cosecha de la zona de vega de Alatorre Veracruz" Universidad Veracruzana. Facultad De Ciencias Químicas Zona Xalapa.
- Mayer. H., Ceccaroni. D., Marconi. O., Sileoni. V. (2015). Development of an all rice malt beer: A gluten free alternative. *LWT - Food Science and Technology*.
- Meilgaard, M., Y Peppard, T. 1986. Chapter IV, The flavour of beer. In: *Food flavours. Part B. The Flavour of beverages*. Edición Morton, I.D. and A.J. Macleod. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands.
- Millán-Testa, C. E., Méndez-Montealvo, M. G. Ottenhof, M. A., Farha, T. A., and Bello-Pérez, L. A. 2005. Determination of the molecular and structural characteristics of okenia, mango and banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 495-501.
- Morales, H.; Belalcázar, S.; y Cayón, D. G. 1998. Efecto de la época de cosecha sobre la composición fisicoquímica de los frutos en cuatro clones comerciales de musáceas. En: *Postcosecha y Agroindustria del Plátano en el Eje Cafetero de Colombia*. Corpoica, Universidad del Quindío, Asiplat, Comité Departamental de Cafeteros del Quindío, Colciencias, Fudesco. p. 59 - 70.

- Moorthy, S. N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch-Stärke*, 54 (12), 559-592.
- Ojeda-Sahagún J. (1997). Métodos de microscopia electrónica de barrido en Biología. Universidad de Cantabria, España.
- Olsen, H. S. 1995. Enzymatic production of glucose syrups. En: Kearsley, M.W. and Dziedzic, S.Z. Starch hydrolysis products and their derivatives. Blackie academic & professional. Pp. 26-28.
- Otilio, A. L. (2015). Instrumentos básicos para la elaboración de cerveza: medidores de pH. <http://www.canalcerveza.com/instrumentos-basicos-para-la-elaboracion-de-cerveza-medidores-de-ph/>. Acceso: 01/06/2017
- Palmer, G. J (1980). The morphology and physiology of malting barleys. Editorial Academic Press. New York. 301 - 338 p.
- Paredes-López O., Bello-Pérez L. A. & López, M.G. (1994). Amylopectin: structural gelatinization and retrogradation studies. *Food Chemistry*. 50: 411-418.
- Paredes-López, O., Barba de la Rosa, A.P., Hernández-López, D. y Cárabez- Trejo, A. (1990). Amaranto- Características Alimentarias y Aprovechamiento Agroindustrial. Secretaría General de los Estados Americanos. Washington, D.C.
- Pineda-Gómez, P.; Coral, D F.; Ramos-Rivera, D.; Rosales-Rivera, A.; y Rodríguez-García, M. E. (2011). Thermo-alkaline treatment. A process that changes the thermal properties of corn starch. *Procedia Food Science*. 1:370 – 378.
- Sathe. S.K. and Salunkhe, D.K. (1981). "Isolation, partial characterization and modification of the great northern bean. (*Phaseolus vulgaris*) starch". *J. Food Science*. 46, 617-621.
- SAGARPA (2015). Recuperado de: <http://old.nvnoticias.com/90258-tuxtepec-plátano-maduro>

- Sanchez M.A. (2011). “Fermentación de malta empleando un sistema semicontinuo en el proceso de elaboración de cerveza”. Universidad Tecnológica De La Mixteca. Página 4.
- Sánchez-Rivera M.M, (1999). García-Suárez FJL, Velázquez del Valle M, Gutiérrez-Meraz F, Bello-Pérez LA “Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite”, Carbohydr. Polym., 62, 50.
- Sidel, J., & Stone, H. (1985). Sensory Evaluation Practices. New York, USA: Academic Press.
- Suárez, M. (2013). Cerveza. Componentes y propiedades. Tesis para optar el grado académico de Magister en Biotecnología Alimentaria. Universidad de Oviedo. Oviedo, España.
- Schmidt-Hebbel, H., Y Pennacchiotti, I. (1985). Tabla de Composición Química de Alimentos Chilenos. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Santiago. 61 p.
- Swistowicz, W.(1977). El Cerveceros en la práctica. Segunda Edición. Asociación de Maestros cerveceros de las Américas, Madison, Wisconsin. 413 p.
- Cardama. S. 2009. Analysis Sensorial, Taste, Olfaction, Flavor, Perception and Nature. Pag. 2 – 7.
- Rajendram. R. (2009). Chapter 41: Ethanol in Beer: Production, Absorption and Metabolism Beer in health and disease prevention. Elsevier. USA.
- Romero. C; Benítez, E; Peruchena, N; Sisa, G y Lozano, J. (2013). ¿A qué se debe la formación y estabilidad de la espuma en la cerveza? Estudio en cervezas regionales del noreste argentino. Universidad Tecnológica Nacional de Buenos Aires. Argentina.
- Rodríguez. S. (2015). “Efecto de la sustitución de cebada (*hordeum vulgare*) por quinua (*chenopodium quinoa*) y del ph inicial de maceración en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de una cerveza tipo ale” Universidad Privada Antenor Orrego. Facultad De Ciencias Agrarias.

- Rodríguez. A. (2003). Determinación de Parámetros Físico-Químicos para la Caracterización de Cerveza Tipo Lager Elaborada por Compañía Cervecería Kunstmann S.A. universidad austral de Chile. Pag-32.
- Ronald S.K., Ronald., Harold E., 1996, Composición y análisis de alimentos de Pearson, Ed. Continental, 2da Edición, México, pp. 10-34.
- Rojas, C., y Serna, S. (2000) [http:// www.mty.itesm.mx/ die/ ddre/ transferecia /transferecia51/eli1-51.html](http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferecia/transferecia51/eli1-51.html). Accessed 05/06/2017.
- Russo, M. A. L., Strounina, E., Waret, M., Nicholson, T., Truss, R., and Halley, P. J. (2007). A study of Water Diffusion into a High-Amylose Starch Blend: The effect of Moisture Content and Temperature. *Biomacromolecules*. 8 (1), 296 – 301.
- Singh, J., and Singh, N. (2003). Studies on the morphological and rheological properties of granular cold water soluble corn and potato starches. *Food Hydrocolloids*. 17 (1): 63 – 72.
- Tester, R., Karkalas, J. y Qi, X. (2004). Starch composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science* 39, 151-165.
- Tintó, F. Sánchez, J.M. Vidal, P. Vijan (2004). La cerveza artesanal. Cerveart, Sabadell, España.
- Thomas D. J., and Atwell W. A. (1999). Starches. Critical guides for the food industry. Eagan Press Handbook series. St. Paul, Minnesota, USA. Pp. 1 – 29.
- V. Sanchis, M. Orive, A. J. Ramos (2000). La cerveza. Aspectos microbiológicos. Lleida, España.
- Willaert, R. y Nedovic, V. (2006). “Primary beer fermentation by immobilised yeast- a review on flavour formation and control strategies”. *Journal of Chemical Technology Biot.*, 81: 1353-1367.
- Zamudio-Flores, P. B., A. Vargas-Torres, J. Pérez-González, E. Bosquez-Molina, and L. A. Bello-Pérez.(2006). Films prepared with oxidized banana starch: Mechanical and barrier properties. *Starch/Stärke* 58: 274-282.
- Zamudio-Flores, P. B., L. A. Bello-Pérez, A. Vargas-Torres, J. P. Hernández-Urbe, y C. A. Romero-Bastida. 2009. Caracterización parcial de

películas preparadas con almidón oxidado de plátano. *Agrociencia* 41: 837-844.

- Zang P., Whistler, R.L., BeMiller J.N. y Hamaker B.R. (2005). Banana starch:production, physicochemical properties, and digestibility. *Carbohydrate polymers*, 59:443-458.
- Zhao, J.; Wistler, R. L. (1994). Spherical aggregates of starch granules as flavor carriers. *Food Technology*, v. 48, n. 7, p. 104-105.