



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INGENIERIA QUIMICA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO QUIMICO**

**TÍTULO**

**Evaluación del Rendimiento de la fermentación  
alcohólica a partir del almidón de la papa (*Solanum  
tuberosum*), camote (*Ipomoea batata*) y olluco (*Ullucus  
tuberosus*)**

**PRESENTADO POR:**

Bach. : Odar Jiménez, Mónica Leticia

Bach. : Parraguez Llaguento, Dora Angélica

**ASESORADO POR:**

Dra. Blanca Margarita Romero Guzmán

**LAMBAYEQUE – PERU  
2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INGENIERIA QUIMICA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO QUIMICO**

**TÍTULO**

**Evaluación del Rendimiento de la fermentación  
alcohólica a partir del almidón de la papa (*Solanum  
tuberosum*), camote (*Ipomoea batata*) y olluco (*Ullucus  
tuberosus*)**

**SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL  
SIGUIENTE JURADO:**

---

**M. Sc. Gutierrez Moreno, Ronald Alfonso  
PRESIDENTE**

---

**M. Sc. Guerrero Braco, James Jenner  
SECRETARIO**

---

**Dr. Pozo Suclupe, Luis Antonio  
VOCAL**

**LAMBAYEQUE – PERU  
2018**

## DEDICATORIA

A Dios que con su amor incondicional me guía en todo momento y hace que todo sea posible en el tiempo indicado, brindándome las fuerzas necesarias para salir adelante y la sabiduría para tomar las mejores decisiones.

A mis Padres Margarita y Oswaldo, a mi tía Eliana que a pesar de las dificultades estuvieron a mi lado brindándome todo su apoyo, un ejemplo de perseverancia ya que cuando uno se le propone puede lograr cosas grandes.

A mis hermanos que son mi ejemplo a seguir, que nada sería mejor sin ellos.

Mónica Odar Jiménez

## **DEDICATORIA**

A Dios, por estar en todos los pasajes y logros de mi vida, dándome fuerzas espirituales para poder afrontar cada etapa de ella.

A mis padres, Carlos y Martha, por su apoyo permanente en la noble tarea educativa y en el logro de nuestros objetivos profesionales.

A mi hermano por su amor, paciencia y comprensión día con día.

Dora Angélica Parraguez Llaguento

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por ser nuestro guía, por darnos vida, conocimiento y fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestra asesora la Dr. Blanca Romero Guzmán, y al Decano de la Facultad, el Dr. Juan Carlos Visitación Díaz, por el tiempo, paciencia, incentivo y apoyo constante durante el desarrollo de nuestro proyecto.

Al Sr. Edilberto Floriano Gómez, técnico de Laboratorio de Físico-química, de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, por su apoyo desinteresado en los análisis respectivos del presente trabajo de investigación.

A nuestros padres por su amor, por estar siempre con nosotras y demostrándonos su confianza.

A todos los ingenieros de la Facultad de Ingeniería Química que nos ilustraron con su conocimiento y nos enseñaron amar nuestra carrera.

“La gratitud le da sentido al pasado, trae paz al presente y crea una visión para el futuro”.

# ÍNDICE

I.	INTRODUCCION .....	11
II.	OBJETIVOS .....	13
III.	MARCO TEORICO .....	14
3.1	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	14
3.2	BASE TEÓRICA .....	16
3.2.1	PAPA .....	16
3.2.2	CAMOTE .....	17
3.2.3	OLLUCO .....	18
3.2.4	ALMIDÓN .....	19
3.2.5	HIDROLISIS DEL ALMIDON .....	21
3.2.6	FERMENTACION ALCOHOLICA .....	22
3.2.7	ALCOHOL ETILICO .....	23
3.2.8	INDUSTRIALIZACIÓN DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS .....	24
3.2.9	DETERMINACIÓN DE AZUCARES REDUCTORES POR EL REACTIVO FEHLING .....	25
3.2.10	DETERMINACION DE ETANOL EN SOLUCIONES DILUIDAS .....	26
3.3	DEFINICION DE TERMINOS .....	27
IV.	MATERIALES Y METODOS .....	29
4.1	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	29
4.2	MATERIALES EMPLEADOS .....	29
4.3	PROCEDIMIENTO .....	31
4.3.1	OBTENCIÓN DE ALMIDÓN .....	31
4.3.2	SACARIFICACIÓN DEL ALMIDÓN .....	32
4.3.3	FERMENTACIÓN DE MOSTOS OBTENIDOS .....	34
4.3.4	DESTILACIÓN DE LOS MOSTOS FERMENTADOS .....	34
V.	RESULTADOS Y DISCUSION .....	35
5.1	CARACTERIZACION DE LOS ALMIDONES .....	35
5.2	RENDIMIENTO DE ALMIDON DE LOS TUBERCULOS: papa, camote y olluco. 36	
5.3	RENDIMIENTO DE GLUCOSA DE LOS ALMIDONES DE PAPA, CAMOTE Y OLLUCO .....	36
5.4	RENDIMIENTO DE ETANOL DE LOS ALMIDONES DE PAPA, CAMOTE Y OLLUCO. ....	37
VI.	DISCUSION .....	38
VII.	CONCLUSIONES .....	40
VIII.	RECOMENDACIONES .....	41
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
X.	ANEXOS .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura del almidón .....	19
Figura 2: Amilosa (enlace glicosídico alfa-1,4) .....	20
Figura 3: Amilopectina (uniones alfa-1,4 y Amilosa alfa-1,6) .....	20
Figura 4: Estructura molecular del etanol .....	23
Figura 5: Extracción de almidón .....	32

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Composición nutricional de la papa.....	16
<b>Tabla 2</b>	Composición nutricional del Camote .....	17
<b>Tabla 3</b>	Composición nutricional del Olluco.....	18
<b>Tabla 4</b>	Propiedades Fisicoquímicas del Alcohol Etílico .....	24
<b>Tabla 5</b>	Composición física y química de los almidones de papa, camote y olluco.....	35
<b>Tabla 6</b>	Rendimiento de almidón en base al peso en fresco de papa, camote y olluco. .....	36
<b>Tabla 7</b>	Rendimiento de glucosa en base al peso de los almidones de papa, camote y olluco .....	36
<b>Tabla 8</b>	Rendimiento de etanol de los almidones de papa, camote y olluco .....	37



## RESUMEN

Ante la gran demanda proyectada de bioetanol a nivel mundial y al déficit de materias primas para su obtención, en el presente trabajo se planteó el objetivo de evaluar el rendimiento de la fermentación alcohólica a partir del almidón de la papa (*solanum tuberosum*), camote (*ipomoea batata*) y olluco (*ullucus tuberosus*) en la Región Lambayeque.

La obtención del etanol a partir de papa, camote y olluco se realizaron en tres etapas: extracción del almidón de los tubérculos, sacarificación del almidón obtenido y finalmente fermentación y destilación del etanol obtenido a partir de la glucosa obtenida de cada almidón.

Se seleccionó 2 kg de cada tubérculo previamente lavadas y secadas en forma natural. La papa fue de variedad canchay, el camote fue morado y el olluco amarillo Ckello chuccha.

La extracción del almidón se realizó en húmedo hasta obtener un almidón con una humedad estándar de 5%. La sacarificación se realizó en tres etapas consecutivas: gelatinización (90°C y 30 minutos), licuefacción con alfa-amilasa (70°C y 120 minutos) y finalmente la sacarificación con glucoamilasa (65°C y 24 horas). El mosto obtenido en la etapa de sacarificación se estandarizo y fermento con levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Finalmente se procedió a la destilación.

En la etapa de extracción el camote tuvo un rendimiento de 18,84% de almidón respecto al tubérculo en comparación de 10,53 y 5,26 para la papa y olluco respectivamente. En la etapa de sacarificación el rendimiento fue de 89,37 % de glucosa basado en el peso de almidón consumido y 80,91% respecto al rendimiento estequiométrico. En la etapa de fermentación el rendimiento promedio de los tres almidones fue de 50,00% respecto al teórico.

Se obtuvieron los siguientes resultados, el camote tuvo un rendimiento de 0.0719 litros de etanol por kg de tubérculo, mayor que 0,0413 de la papa y 0,0196 del olluco.

Se concluye que el camote es el tubérculo con mayor rendimiento en la obtención de alcohol.

## ABSTRACT

In view of the projected large demand for bioethanol worldwide and the shortage of raw materials for its production, the objective of this paper was to evaluate the performance of alcoholic fermentation from potato starch (*Solanum tuberosum*), sweet potato (*Ipomoea batata*) and olluco (*Ullucus tuberosus*) "in the Lambayeque Region.

The obtaining of ethanol from potatoes, sweet potato and olluco were carried out in three stages: extraction of the starch from the tubers, saccharification of the starch obtained and finally fermentation and distillation of the ethanol obtained from the glucose obtained from each starch.

2 kg of each tuber was previously washed and dried naturally. The potato was of the variety canchan, the sweet potato was purple and the olluco Ckello yellow chuccha.

The extraction of the starch was carried out wet until obtaining a starch with a standard humidity of 5%. The saccharification was carried out in three consecutive stages: gelatinization (90 ° C and 30 minutes), liquefaction with alpha-amylase (70 ° C and 120 minutes) and finally saccharification with glucoamylase (65 ° C and 24hours). The must obtained in the saccharification stage was standardized and fermented with yeast *Saccharomyces cerevisiae*. Finally the distillation proceeded.

In the extraction stage, the sweet potato had a yield of 18.84% of starch with respect to the tuber in the comparison of 10.53 and 5.26 for potato and olluco respectively. In the saccharification stage the yield was 89.37% glucose based on the weight of starch consumed and 80.91% with respect to the stoichiometric yield. In the fermentation stage, the average yield of the three starches was 50.00% with respect to the theoretical one.

The following results were obtained, the sweet potato had a yield of 0.0719 liters of ethanol per kg of tuber, greater than 0.0413 of the potato and 0.0196 of the olluco.

It is concluded that the sweet potato is the tuber with the highest yield in obtaining alcohol.

# **I. INTRODUCCION**

Las raíces y tubérculos son fuentes importantes de energía, debido principalmente a su contenido de almidón, un polisacárido muy complejo que se almacena en forma de gránulos en las células de membrana delgada. Los diferentes tipos de almidón se diferencian entre sí por el tamaño de los gránulos, su apariencia microscópica, sus características físicas y su constitución química, pues existen almidones que están constituidos en su mayor cantidad de amilosa y otros de amilopectina (Alfaro & Illanes, 2009). Eso quiere decir que los almidones difieren física y químicamente según su origen.

En nuestro país se tiene 372 502; 22 889 y 41 510 hectáreas dedicadas a la producción de papa, camote y olluco respectivamente. La producción de los tres tubérculos viene creciendo sostenidamente. Por ejemplo, la producción de papa se ha incrementado de 3.8 millones en el 2004 a 4.7 millones en el 2015, convirtiendo al Perú en el décimo octavo productor de papa en el mundo, siendo un importante exportador a nivel mundial (INEI, 2015). Respecto al camote también se exporta.

El almidón es materia prima para la fabricación de numerosos productos donde destaca el etanol, por lo mismo puede proporcionar a nuestra economía una fuente de abastecimiento casi ilimitada en la elaboración de bioetanol.

Las tendencias actuales del suministro y consumo de energía mundiales son duramente insostenibles, tanto desde el punto ambiental como del económico y social. Los principales desafíos son: asegurar un suministro de energía fiable y asequible, y pasar rápidamente a un nuevo sistema de suministro de energía con bajas emisiones de carbono, eficiente y respetuosos del medio ambiente (Internacional Energy Agency, 2008).

Se ha encontrado que el uso de biomasa para la producción de etanol como fuente de energía es muy competitivo en precio y calidad comparado con los combustibles fósiles, además, empleando biocombustibles se pueden reducir drásticamente las emisiones de CO<sub>2</sub> (Santis-Espinosa et al., 2015).

La tecnología de producción de etanol a partir de materias amiláceas es ampliamente conocida. Involucra tres etapas: licuefacción, sacarificación y fermentación. En las dos primeras etapas se emplea enzimas amilolíticas y en la etapa de fermentación se emplea levaduras como la *Sacchromyces cerevisiae* (Sánchez et al., 2007).

Ante la problemática presentada, la existencia de materias primas, necesidad de etanol y tecnología conocida. Este proyecto se justifica porque siempre que existe excedentes de papa, camote u olluco que se venden a precios muy bajos o incluso se desechan, los cuales por su contenido de almidón pueden ser utilizados para la producción de bioetanol, dándole un mayor valor agregado a estos tubérculos peruanos. La importancia del proyecto radica en que se estaría cubriendo las necesidades internas de bioetanol, sin tener necesidad de recurrir a las importaciones y por ende a una salida de divisas de nuestro país. Otro punto importante es que se promueve el cultivo de estos tubérculos en cantidades masivas para la producción de bioetanol, combustible del futuro.

## II. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

1. Evaluar el rendimiento de la fermentación alcohólica a partir del almidón de la papa (*Solanum tuberosum*), camote (*Ipomoea batata*) y olluco (*Ullucus tuberosus*) en la región Lambayeque.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir el proceso de la fermentación para la obtención de alcohol etílico a partir de la papa (*Solanum tuberosum*), camote (*Ipomoea batata*) y olluco (*Ullucus tuberosus*).
2. Determinar la concentración de glucosa presente en la papa (*Solanum tuberosum*), camote (*Ipomoea batata*) y olluco (*Ullucus tuberosus*).
3. Identificar que composición físico- química presenta mayor incidencia en la concentración de glucosa.
4. Evaluar los resultados del rendimiento de etanol en base del almidón y determinar el rendimiento alcohólico obtenido por el proceso de fermentación según la papa (*Solanum tuberosum*), camote (*Ipomoea batata*) y olluco (*Ullucus tuberosus*).

### III. MARCO TEORICO

#### 3.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

- Andrade (2009), en su investigación sobre la Obtención de aguardiente a partir de batata, concluye que la batata tiene el potencial para ser utilizada como materia prima en la elaboración de aguardiente de buena calidad gracias a su contenido de almidones hidrolizables en azúcares fermentables.
- Chávez (2002), en su investigación sobre Elaboración de jarabe de glucosa partiendo de jarabe de almidón de camote (*ipomea batata*), concluye que el rendimiento del camote en almidón es de 20% sobre su base seca, 6% más bajo que el rendimiento teórico esperado. El rendimiento del almidón de camote en jarabe de glucosa es de 15% de la pasta de almidón.
- Laos (2004), en su investigación sobre Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolumtuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucustuberosus*) para su aplicación tecnológica, Concluyen que las características morfológicas de los tres almidones de oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ollucus tuberosus*) y mashua (*Tropaelum tuberosm*) estudiados son muy diferentes, se debe utilizar como criterio objetivo para su identificación. El almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) es el mejor de los tres estudiados.
- Gonzales y Molina (2003), en su Estudio de los factores que afectan la hidrólisis enzimática y el proceso fermentativo para la producción de alcohol a partir de papa (*Solanumtuberosum*), Concluyen que el efecto combinado entre las concentraciones de la enzima  $\alpha$ -amilasa y el sustrato presento significancia estadística; la conversión a azúcares reductores se ve favorecida al utilizar los valores de 0,8 mL/kg sustrato y 20 % respectivamente. Además, se encontró que el valor máximo de

torque requerido para la agitación en el proceso de gelatinización fue de 11 N·cm y de 1 N·cm para la dextrinización y la sacarificación, respectivamente.

- Leipzig (1996), en la Evaluación del rendimiento, especificaciones de la calidad y propiedades funcionales del almidón de oca, mashua, miso, melloco y zanahoria blanca, Concluye que los rendimientos en almidón para la oca, el miso y la zanahoria blanca son de 14.18, 13.95 y 13.52 por ciento respectivamente, mientras que para el melloco y la mashua son de 5.17 y 2.26 por ciento. Los almidones de oca y melloco poseen gránulos ovoidales, mientras que los de mashua, miso y zanahoria blanca son esféricos. Del estudio realizado se concluye que por su facilidad de procesamiento y su rendimiento, la zanahoria blanca al igual que la oca, constituyen buenas materias primas para la obtención de almidón.
- Arteaga, Carrasco (2008), en su investigación sobre Estudio comparativo del rendimiento de alcohol etílico a partir de cinco variedades de papa (*solanum tuberosum*), Concluye que la variedad de papa tiene una influencia significativa respecto al rendimiento de etanol. Esto se debe a que tienen diferente contenido de almidón, el cual es primero hidrolizado a azúcares, que a su vez es fermentado en alcohol etílico. De las cinco variedades de papa ensayadas, la Yungay tuvo el rendimiento más alto.

## 3.2 BASE TEÓRICA

### 3.2.1 PAPA

La papa (*Solanum tuberosum*), es una especie oriunda del Perú y cultivada desde épocas prehispánicas hasta la actualidad, es un gran aporte de los antiguos peruanos a la alimentación mundial. Actualmente en el Perú, es el principal cultivo del país en superficie sembrada y representa el 25% del PBI agropecuario. (Mendoza, 2015).

Las distintas variedades se pueden diferenciar por el color de la epidermis y de la pulpa, la resistencia a enfermedades, el largo del ciclo de cultivo y los requerimientos nutritivos, entre otras características de relevancia productiva. Rasgos irrelevantes para la producción, pero que sirven para identificar cultivares, son el color de las flores, la rugosidad de la epidermis y la profundidad de los ojos. (agroancash.gob.pe).

Tabla 1  
*Composición nutricional de la papa*

COMPUESTO	CANTIDAD
Calorías	74 Kcal
Agua	80.7 g
Proteína	2.34 g
Grasa	0.11 g
Cenizas	G
Carbohidratos	20.13 g
Fibra	2.07 g
Calcio	5 mg
Hierro	0.31 mg
Fósforo	28 mg
Potasio	560 mg
Vitamina C	13 mg
Vitamina A	14.545 IU

*Nota.* Recuperado de Montalvo (1991)



### 3.2.2 CAMOTE

El camote (*Ipomoea batatas*) es una planta de raíces comestibles que habita en el trópico seco.

A pesar de su alta productividad y bajos costos de producción, su siembra es bastante rústica, pues generalmente se le maneja en el campo de forma natural. Tiene múltiples aplicaciones, en la cosecha se utiliza toda la planta ya sea como alimento, forraje, medio de propagación o como materia prima súper barata para la industria. Es otro cultivo importante con alta tolerancia a estreses bióticos y abióticos, por esta cualidad, la producción general en las tres regiones del país es en forma natural y su costo de producción es bajo. En algunas zonas de la costa, el nivel de fertilización es bajo en nitrógeno y fósforo, pero alto en potasio (UNALM, 2015).

Tabla 2  
*Composición nutricional del Camote*

COMPUESTO	CANTIDAD
Calorías (kcal)	86
Agua (g)	77.28
Proteína (g)	1.57
Grasa (g)	0.05
Cenizas (g)	0.99
Carbohidratos (g)	20.12
Fibra (g)	3.0
Calcio (mg)	30
Hierro (mg)	0.61
Fósforo (mg)	47
Potasio (mg)	337
Vitamina C (mg)	22.7
Vitamina A (IU)	14.187

*Nota.* Recuperado: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/90518/D-79182.pdf>

### 3.2.3 OLLUCO

Olluco (*Ullucus tuberosus*), Es uno de los cultivos más extendidos en Sudamérica, y en el Perú se encuentra en constante proceso de expansión agrícola, debido a su demanda por el agradable sabor y gran versatilidad que tiene para la gastronomía, así como por su resistencia a muchas plagas y la poca necesidad de pesticidas. En Perú existen numerosas variedades de olluco y se van determinando entre 50 y 70 clones.

El olluco posee alto contenido de almidón, azúcares, proteínas y vitamina C; sin embargo, la variación del contenido de sus componentes depende de las variedades y de la zona de cultivo a la vez resulta ser una opción adecuada para platos bajos en calorías por ser considerado dietético ya que contiene más de 80 % de agua, y cantidades insignificantes de grasa por tanto es bajo en calorías.

Tabla 3  
*Composición nutricional del Olluco*

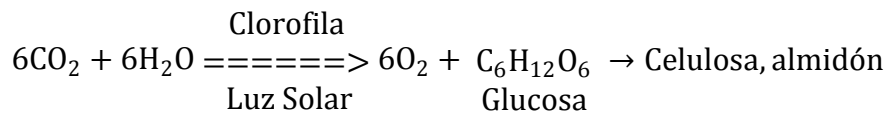
COMPUESTO	CANTIDAD
Calorías	51 Kcal
Agua	86 g
Proteína	1.1 g
Grasa	0.1 g
Cenizas	0.8 g
Carbohidratos	14.3 g
Fibra	0.6 g
Calcio	3 mg
Hierro	0.8 mg
Fósforo	35 mg
Potasio	mg
Vitamina C	11.5 mg
Vitamina A	5 IU

*Nota.* Recuperado de <http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Tabla%20de%20Alimentos.pdf>

### 3.2.4 ALMIDÓN

#### GENERALIDADES

El almidón es el principal carbohidrato de reserva, que se encuentra distribuido en los vegetales (granos de cereales, guisantes y tubérculos) que lo sintetizan durante la fotosíntesis en el cual, la luz solar provee la energía para convertir CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>O en glucosa más oxígeno. (Guisela Zambrano, 2013).



Se halla en forma de gránulos de forma y tamaño característicos de la planta de la cual se obtiene.

#### Composición Química

“Los gránulos de almidón no son homogéneos sino que estan compuestos generalmente alrededor del 20% de una fracción soluble en agua llamada amilosa, y el 80% de una insoluble, conocida como amilopectina”. (Guisela Zambrano, 2013).

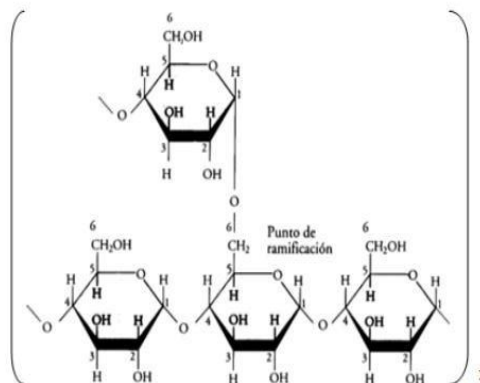


Figura 1: Estructura del almidón .Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1173/1/T-UCE-0017-35.pdf>

“La amilosa comprende casi el 20% en masa del almidón y consta en general de más de 1000- 4000 unidades de alfa-D-glucopiranosas, unidas por enlaces 1-4-alfa-glicosídicos, y dan lugar a polímeros lineales que adquieren forma helicoidal con 6 glucosas por vuelta. Debido a esto la amilosa tiene una forma compacta, incluso a pesar de su enorme peso molecular. (Guisela Zambrano, 2013).

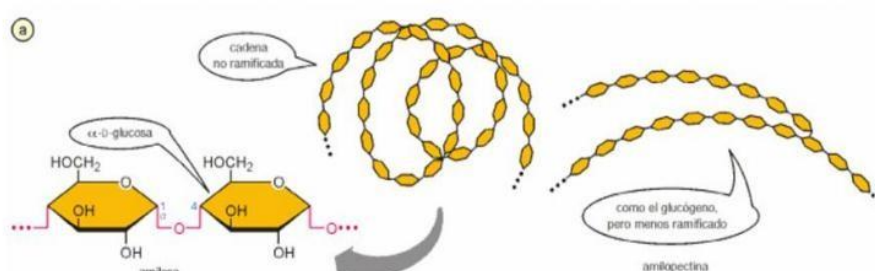


Figura 2: Amilosa (enlace glicosídico alfa-1,4). Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1173/1/T-UCE-0017-35.pdf>

Por hidrólisis de la amilosa se obtiene la maltosa como único disacárido y la D(+)-glucosa como único monosacárido. “La amilopectina comprende el 80% restante del almidón consta de enlaces alfa-1,4-glicosídicos de alfa-D-glucopiranosas, que aproximadamente cada 15 a 25 unidades de glucosa se ramifican mediante un enlace alfa-1,6”. (Guisela Zambrano, 2013).

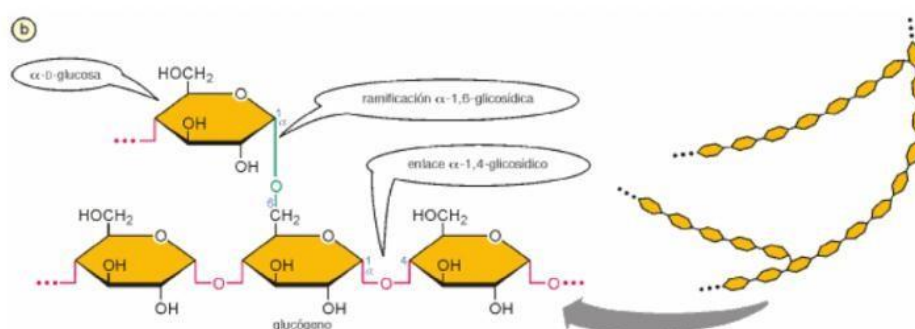


Figura 3: Amilopectina (uniones alfa-1,4 y Amilosa alfa-1,6). Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1173/1/T-UCE-0017-35.pdf>

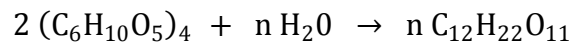
La amilosa es el componente que contribuye a la característica de retrogradación, mientras que la amilopectina es la fracción no gelatificante que contribuye a la viscosidad dando consistencia a los alimentos debido a su alta solubilidad.

### 3.2.5 HIDROLISIS DEL ALMIDON

La hidrólisis produce azúcares que son directamente utilizados por todos los microorganismos vivos. En la hidrólisis enzimática por acción de las enzimas las más comunes son: alfa y beta amilasa.

Para una eficiente hidrólisis enzimática del almidón por las amilasas conviene que esté gelatinizado, por esta razón se realiza un cocimiento del almidón antes de la adición de dichas enzimas:

Reacción de hidrólisis



Una vez que el almidón está transformado en glucosa, maltosa y dextrina, se introduce la levadura y se transforma en etanol.

La hidrólisis industrial del almidón comprende 3 etapas sucesivas:

- Gelatinización: Cuando el almidón es calentado en agua en exceso, este cae en una fase de transición; esta fase está asociada con una difusión de agua dentro del gránulo y posterior región amorfa, hidratación e hinchazón radial, pérdida de birrefringencia, pérdida del orden de región cristalina y lixiviación de la amilosa y amilopectina.
- La licuefacción o dextrinización: es el proceso mediante el cual a partir de un almidón gelatinizado se obtiene una rápida disminución de la viscosidad en virtud de una hidrólisis parcial. En esta etapa se producen polisacáridos de longitud intermedia (maltodextrinas con 5 a 10 unidades de glucosa) y pequeñas cantidades de polisacáridos de alto peso molecular, como también algunos de bajo peso molecular (glucosa, maltosa entre otros).

- Sacarificación: a partir de las maltodextrinas de la etapa anterior se completa la hidrólisis total del almidón a glucosa.

En la digestibilidad de almidones como materia prima, muchos factores como el tamaño de particular, relación de amilosa: amilopectina, extensión de la asociación molecular entre los componentes del almidón, grado de cristalinidad, longitud de la cadena de amilosa y presencia de complejos lípidos-amilosa, juegan un papel importante en la degradación

### **3.2.6 FERMENTACION ALCOHOLICA**

La fermentación puede definirse como un proceso de biotransformación en el que se llevan a cabo cambios químicos en un sustrato orgánico por la acción de enzimas sintetizadas por microorganismos conocidos como catalizadores bioquímicos o biocatalizadores, en este caso capaces de convertir las hexosas del mosto en etanol cuando las condiciones son anaeróbicas.

El 96% de la producción de etanol la llevan a cabo diferentes especies de levaduras debido a su alta productividad en la conversión de azúcares a etanol y a que se separan mejor después de la fermentación. Entre las especies más utilizadas están: *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces anamensis*, *Saccharomyces carlsbergensis*. *Candida pseudotropicalis*.

Los sistemas biológicos discontinuos para la producción de etanol se inician en aerobiosis, para obtener la máxima biomasa posible, ya que si las condiciones anaerobias empiezan demasiado pronto la población no será lo suficientemente grande como para obtener una buena velocidad de conversión a etanol. Se distinguen por lo tanto dos fases:

- Fase aerobia: es una fase de crecimiento en la cual la glucosa pasa a dióxido de carbono.
- Fase anaerobia: es la fase de producción de etanol; la glucosa pasa a etanol y dióxido de carbono.

Incluso en la fase anaerobia será necesaria una cierta presencia de oxígeno, ya que las levaduras lo necesitan para producir sus esteroides y sus ácidos grasos insaturados de membrana (AGRO WASTE, 2013).

### 3.2.7 ALCOHOL ETILICO

Conocido como etanol, es un alcohol que se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78°C, al mezclarse con agua en cualquier proporción, da una mezcla azeotrópica. (Guisela Zambrano, 2013).

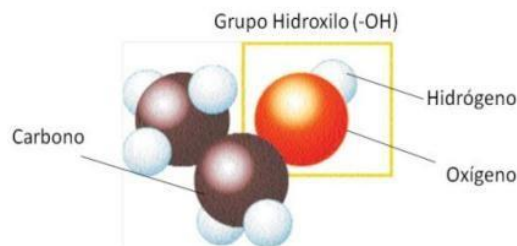


Figura 4: Estructura molecular del etanol. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1173/1/T-UCE-0017-35.pdf>

Puede obtenerse a través de dos procesos de elaboración: la fermentación o descomposición de los azúcares contenidos en distintas frutas, y la destilación, consistente en la depuración de las bebidas fermentadas. (Guisela Zambrano, 2013).

Tabla 4  
*Propiedades Fisicoquímicas del Alcohol Etílico*

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	DESCRIPCIÓN
Estado de agregación	Líquido
Apariencia	Incoloro
Densidad	810 kg/m <sup>3</sup> ; (0,810 g/cm <sup>3</sup> )
Masa molecular	46,07 uma
Punto de fusión	158,9 K (-114,1 °C)
Punto de ebullición	351,6 K (78,6 °C)
Temperatura crítica	514 K (241 °C)
Presión crítica	63 atm
Temperatura de inflamación	13 °C

Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1173/1/T-UCE-0017-35.pdf>

### 3.2.8 INDUSTRIALIZACIÓN DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

#### – ALCOHOL ETÍLICO

El etanol es la materia prima de numerosos productos, como acetaldehído, éter etílico y cloroetano. Se utiliza como anticongelante, aditivo alimentario y medio de crecimiento de levaduras, en la fabricación de revestimientos de superficie y en la preparación de mezclas de gasolina y alcohol etílico. La producción de butadieno a partir de alcohol etílico ha tenido una gran importancia en las industrias de los plásticos y el caucho sintético. El alcohol etílico puede disolver muchas sustancias y, por este motivo, se utiliza como disolvente en la fabricación de fármacos, plásticos, lacas, barnices, plastificantes, perfumes, cosméticos, aceleradores del caucho, etc. (Guisela Zambrano, 2013).



## – RESIDUOS DEL PROCESO

**CO<sub>2</sub>.** Los gases resultantes del proceso de fermentación se venden a empresas, para la extracción de dióxido de carbono.

**Vinaza.** La vinaza es un subproducto obtenido en la etapa de la destilación, posee minerales como potasio, fósforo, aluminio, magnesio, boro entre otros, que son importantes para la agricultura pero si no se maneja en forma correcta, puede ser un contaminante de los suelos y el agua. Para evitar esto, la vinaza es aprovechada y de ella se extraen sus mejores componentes para hacer fertilizantes. Esta vinaza puede ser utilizada en fertilización líquida o en compostaje. Además del procesamiento de las vinazas para generar gas metano, el cual puede ser quemado las calderas para generación de vapor y que se utiliza para la producción de energía eléctrica.

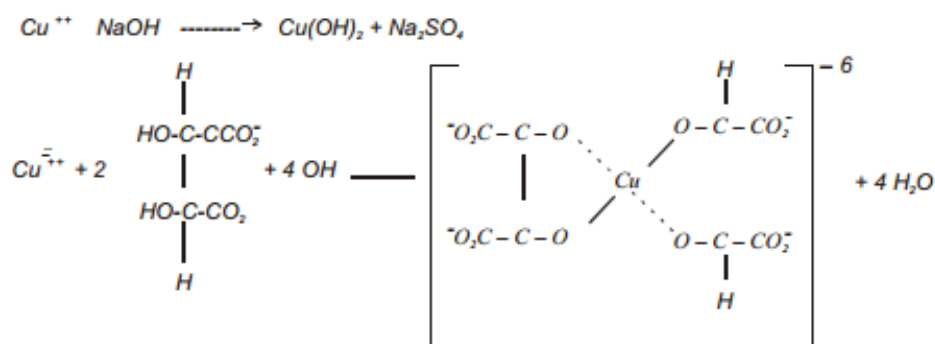
Todo este proceso de reutilización o reciclaje de los productos, disminuye la importación de insumos agrícolas como cloruro de potasio y úrea entre otros, además de reducir el impacto generado por una posible contaminación, si las vinazas no se transformaran en fertilizantes. (Guisela Zambrano, 2013).

### 3.2.9 DETERMINACIÓN DE AZUCARES REDUCTORES POR EL REACTIVO FEHLING

El licor Fehling es un complejo tártrico cúprico formado por una solución A de sulfato de cobre y una solución B de hidróxido sódicopotásico; el tartrato en solución alcalina reacciona con el hidróxido cúprico formando un ión complejo y da un óxido cuproso de color rojo que indica la presencia de un reductor. Los azúcares reductores reducen el ión cúprico a cuproso formando precipitado de óxido cuproso rojo. Se emplean para reconocer monosacáridos y

disacáridos. Si hay hidratos de carbono en exceso el óxido cuproso puede ser reducido a cobre metálico.

La reacción es:



Para aldehídos:



### 3.2.10 DETERMINACION DE ETANOL EN SOLUCIONES DILUIDAS

Existe un buen número de metodologías diseñadas para la medición de alcohol (etanol) en soluciones diluidas y en el vino de uva y otras frutas, pero la principal y más universalmente extendida es la técnica densimétrica. Ésta se basa en la determinación de la densidad de una solución hidroalcohólica obtenida previamente por destilación de la solución diluida. La densidad puede ser medida a través de diversos instrumentos que el analista seleccionará según su conveniencia. Entre ellos están el hidrómetro, alcoholímetro, picnómetro y el ebullómetro.

### **3.3 DEFINICION DE TERMINOS**

#### **1. Gelatinización**

Es el proceso donde los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría debido a que su estructura es altamente organizada, se calientan (60-70°C) y empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el granulo empieza a hincharse y aumentar de volumen. Este fenómeno puede ser observado al microscopio. Al llegar a cierta temperatura, los gránulos alcanzan un volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la birrefringencia. El rango de temperatura en el que tiene lugar el hinchamiento de todos los gránulos se conoce como rango de gelatinización y es característico de la variedad particular de almidón que se está investigando. Al producirse el hinchamiento de los gránulos, hay también una extracción de la amilosa. Esta amilosa liberada queda en dispersión coloidal donde los gránulos intactos están en suspensión. Si se continúa administrando calor a los gránulos hinchados, estos se romperán parcialmente y la amilosa y amilopectina se dispersarán en el seno de la disolución. Al final de este proceso se genera una pasta o gel en la que existen cadenas de amilosa altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los restos de los gránulos.

#### **2. Retrogradación**

Este fenómeno se define como la insolubilización y precipitación espontanea de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente por puentes de hidrogeno. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación que está relacionada con su contenido de amilosa. Hay dos rutas por las que se puede llevar a cabo la retrogradación que dependen de la concentración y temperatura del sistema:

- Rápida. Al calentar una solución concentrada de amilosa y se enfría rápidamente hasta temperatura ambiente, se forma un gel rígido y reversible.
- Lenta. Una solución diluida, se vuelve opaca y precipita cuando después de calentarse, se deja enfriar lentamente hasta temperatura ambiente.

### 3. **Sacarificación**

La sacarificación es la operación que permite la transformación del almidón a azúcares fermentables, por lo general son: sacarosa, glucosa, maltosa y levulosa. Se puede realizar por medios químicos y enzimáticos, o acción microbiana.

### 4. **Degradación enzimática del almidón**

La degradación enzimática del almidón a glucosas involucra dos procesos licuefacción (por alfa y beta – amilasas) y sacarificación (por glucoamilasas y enzimas desramificadoras). Las enzimas amilolíticas han sido estudiadas en bacterias y hongos. Estudios sobre alfa y beta-amilasa realizadas principalmente en el género *Bacillus* han tenido una importante participación en el desarrollo de procesos con aplicación industrial.

### 5. **Alfa-amilasas**

Son enzimas que catalizan la endohidrólisis de los enlaces alfa-1,4-glucosídicos de polisacáridos con más de tres unidades de D-glucosa unidas por un enlace alfa-1,4 y se encuentran ampliamente distribuidas entre los microorganismos. Son endoamilasas que liberan cadenas de poli y oligosacáridos de longitudes variables.

### 6. **Glucoamilasas**

Son carbohidrasas de exoactividad que cortan enlaces 1,6-, 1,4-, y también algunos 1,3-glucosídicos de alfa-glucanos. Producen beta-D-glucosas del extremo no reducido del sustrato. Las glucoamilasas son producidas por muchos hongos, pero solo por unas pocas bacterias. Son comercialmente importantes en la degradación del almidón, la producción de jarabes de glucosa y fructosa y de etanol.

## **IV. MATERIALES Y METODOS**

### **4.1 POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población estuvo constituida por los tubérculos papa, camote y olluco que se expenden en el mercado mayorista de la ciudad de Chiclayo. La mayoría de ellos son procedencia local, es decir del departamento de Lambayeque. La papa se escogió papa variedad canchan, camote morado y olluco amarillo Ckello chuccha.

Las muestras estuvieron constituidas por 2 kg de cada tubérculo, previamente lavadas y secadas en forma natural.

### **4.2 MATERIALES EMPLEADOS**

#### **EQUIPOS:**

- Balanza con capacidad de 0 a 5.0 kg con precisión de 0.1 g
- Balanza analítica con capacidad de 0 a 250 g, precisión 0.01 g
- Agitador orbital – vaivén: Con agitación de trabajo de 10 a 500 rpm. Control digital de temperatura hasta 150°C. Con inicio y paro de agitación lenta. Para matraces de 50 a 250 ml.
- Matraces: de 250 ml y 500 ml.
- Termómetro: de 1 a 150 °C
- Equipo de filtración al vacío: bomba de vacío, matraz Kitasato, manguera.
- Brixometro

- Equipo para titulación de reductores: buretas de 50 ml con soporte universal, Erlenmeyer de 500 ml, cocina eléctrica.
- Fermentador, un matraz de un litro de capacidad, con tapón y manguerita de salida para el CO<sub>2</sub>.
- Tela filtrante: tela de nylon, comercialmente conocido como tafetán
- Frascos oscuros con tapa hermética
- Equipo de destilación diferencial.

### **REACTIVOS:**

- Solución A y B de Fehling, ácido cítrico, cloruro de calcio, solución de yodo, azul de metileno, glucosa grado químico.
- Suplementos para los mostos: MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> y KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>
- Alfa-amilasa: se utilizó Amylyve A30, una alfa-amilasa de origen bacteriano (*Bacillus subtilis*) del fabricante francés lyven®. Funciona a menos de 75°C y se recomienda 1-2 kg por tonelada de cebada. Considerando un porcentaje de 65% de almidón en cebada, la dosis que se utilizó fue 3 gramos por kilogramo de almidón.
- Glucoamilasa: se utilizó Amylyve AG400L, una glucoamilasa de origen fúngico (*Aspergillus niger*) del fabricante lyven® con la capacidad de hidrolizar dextrinas en glucosa. Según fabricante se recomienda 0.5 a 2 kg por tonelada de hidrolizado con alfa-amilasa, es decir 2 gramos por kilogramo de hidrolizado.

## **4.3 PROCEDIMIENTO**

### **4.3.1 OBTENCIÓN DE ALMIDÓN**

El procedimiento utilizado fue el método de extracción por decantación descrita por Melian (2010). Para obtener el almidón de la papa, camote y olluco se utilizó el mismo procedimiento. Los tubérculos obtenidos se lavaron con agua a la cual se le agrego una cucharada de lejía por litro de agua y se sumergieron los tubérculos durante cinco minutos. Después del lavado y pelado de los tubérculos se rayaron con la ayuda de un rayador para después someterlos a un licuado por cinco minutos con agua sulfitada (1500 ppm de bisulfito de sodio) en una relación 1:3 (p/v). A la lechada obtenida se filtró en tela de nylon para eliminar la fibra. El filtrado se dejó sedimentar por cuatro horas colocando el deposito en el frigider (4 – 5 °C) y se realizó un sifonado del sobrenadante. Se realizó un lavado del almidón por tres veces con agua destilada en una proporción de 2:1 controlando que el decantado sea translucido. El almidón obtenido se sometió a un secado, molienda y tamizado.

Posteriormente la fracción que contiene el almidón fue secada a 40°C por 30 h en una estufa hasta lograr una humedad constante de aproximadamente 5% en peso. Finalmente se muele y se guardó en frascos de vidrio color ámbar y tapa hermética, y almacenados a temperatura ambiente para su posterior uso.

La determinación de humedad del almidón se realizó con una muestra de 10 g, la cual se sometió a un secado a 110°C por 30 horas.

El procedimiento se resume en la Figura 5.

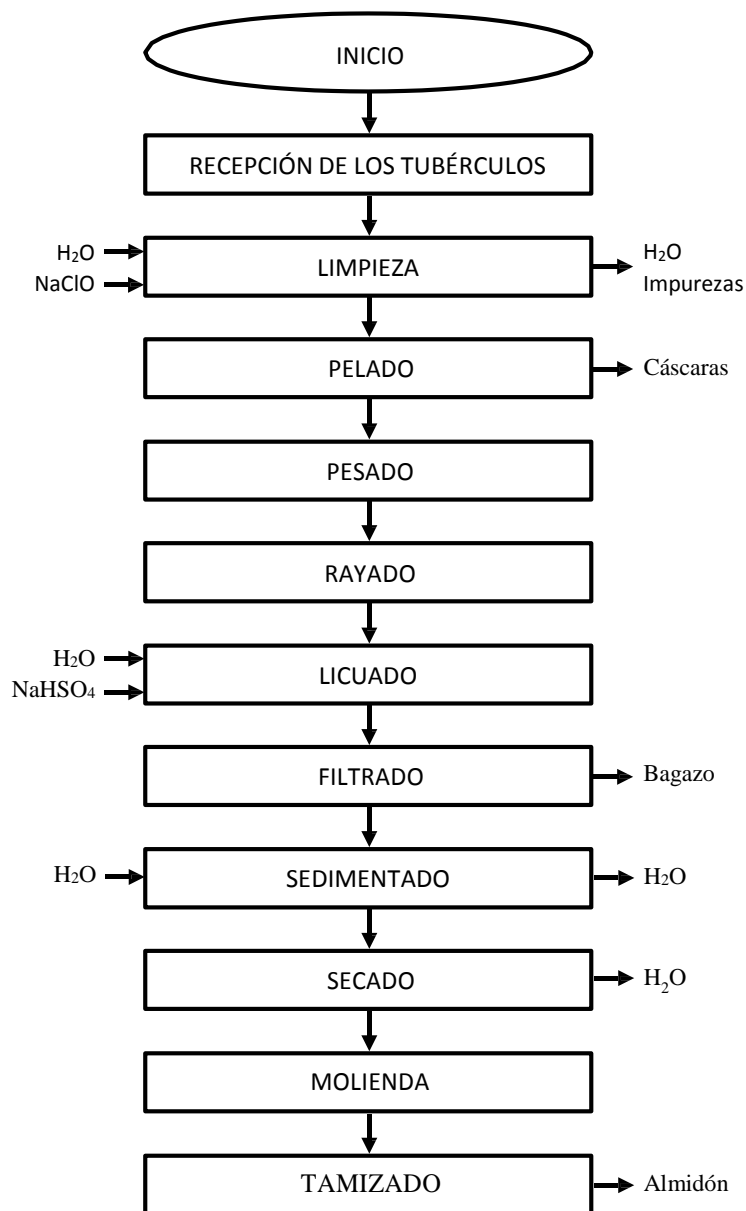


Figura 5: Extracción de almidón. Elaborado por los autores

#### 4.3.2 SACARIFICACIÓN DEL ALMIDÓN

Para este propósito se preparó una suspensión de almidón en agua en una proporción de 4:1, es decir 80% de agua y 20% de almidón. La cantidad que se preparó fue 300 gr de mezcla, que significa que se utilizó 60 g de almidón para cada ensayo. Para las tres etapas



de sacarificación del almidón se empleó un agitador orbital – vaivén.

- **Gelatinización:** se calentó la mezcla agua-almidón a 90°C durante 30 minutos. La agitación se reguló a 300 rpm. Se utilizaron matraces de 500 ml.
- **Licuefacción:** Se dejó enfriar hasta 70°C, se ajustó el pH a 6.0 utilizando solución de ácido cítrico al 10%; luego se adicionó enzima alfa amilasa para obtener una relación enzima/sustrato de 0.3% en peso, es decir 0.18 gramos para cada ensayo. Se adicionó 0.002 gramos de cloruro de calcio.

Se ajustó la temperatura a 70°C y se dejó reaccionar durante 120 minutos en el agitador orbital, después del cual se calentó a 85°C por 5 minutos para inactivar la enzima. La velocidad de agitación empleada fue 300 rpm. Esta etapa fue controlada con solución de yodo diluida (1:5).

- **Sacarificación:** la solución obtenida en la etapa de licuefacción se enfrió a 65°C y se ajustó el pH a 4.8. Se adicionó la enzima glucoamilasa en una proporción de enzima/sustrato de 0.2%, es decir 0.12 gramos para cada ensayo. Luego se dejó en el agitador orbital a 300 rpm con temperatura estable de 65°C durante 24 horas. La enzima se inactivó calentando la solución a 80°C por 5 minutos.

#### **4.3.3 FERMENTACIÓN DE MOSTOS OBTENIDOS**

Los mostos obtenidos de cada uno de los ensayos se normalizaron a una concentración de 23°Bx mediante dilución con agua potable y se suplemento los mostos con  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  y  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  en concentraciones de 2 g/l, 6 g/l y 3 g/l, respectivamente. El inóculo se preparó mediante la activación en 500 ml del medio fermentativo, de 40 g de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (marca Fleischmann) durante cuatro horas en un agitador orbital a 110 rpm y a una temperatura de 30.0° C. Antes de agregar el inóculo se regulo el pH a 4.0 con la adición de HCl 1.0 N. Se dejó fermentar los mostos normalizados por 36 horas.

#### **4.3.4 DESTILACIÓN DE LOS MOSTOS FERMENTADOS**

Se procedió a destilar los mostos fermentados de cada uno los almidones obtenidos y sacarificados. Se empleó el equipo de destilación diferencial de laboratorio. En cada caso se cuidó de empezar con el mismo volumen de aproximadamente 300 ml. La temperatura de control para la destilación fue hasta los 85°C. Al destilado obtenido se reconstituyo al volumen inicial para medir el grado alcohólico obtenido.

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1 CARACTERIZACION DE LOS ALMIDONES

La caracterización de los almidones de la papa, camote y olluco se obtuvieron de distintas fuentes bibliográficas. El resumen se presenta en la Tabla 5

Tabla 5

*Composición física y química de los almidones de papa, camote y olluco*

COMPONENTES	ALMIDÓN DE PAPA*	ALMIDÓN DE CAMOTE**	ALMIDÓN DE OLLUCO***
<b>Humedad, %</b>	9,33	9,83	10,13
<b>Amilosa, %</b>	18,62	19,6	26,0
<b>Amilopectina, %</b>	58,09	80,4	74,0
<b>Temperatura de gelatinización, °C</b>	61,9	-	-
<b>Tamaño de gránulos, µm</b>	5 - 100	8 – 28	
<b>Forma de los gránulos</b>	Ovales a Esféricos	Esférica	triangular
<b>Grasas totales, %</b>	Ácidos grasos saturados, 0.1% Ácidos grasos poliinsaturados, 0,2%	0,31	0,00
<b>Sodio, mg/100 g</b>	55	62	45
<b>Potasio, g/100 g</b>	1	2	499,4
<b>Fibra alimentaria, %</b>	0,6	0,28	0,58
<b>Proteínas, %</b>	0,07	0,22	1,00
<b>Calcio, mg/100 g</b>	65	43	321,6
<b>Hierro, mg/100 g</b>	1,4	1,8	4,5
<b>Magnesio, mg/100 g</b>	65	77	26,4

\*Vargas; Martínez & Velezmoro, 2016.

\*\* Hernández, Torruco, Chel & Betancur, 2008

\*\*\* Surco, 2008

## 5.2 RENDIMIENTO DE ALMIDON DE LOS TUBERCULOS: papa, camote y olluco.

En la Tabla 6 se presenta el rendimiento de almidón en base al peso en fresco de los tubérculos ensayados: papa, camote y olluco.

Tabla 6

*Rendimiento de almidón en base al peso en fresco de papa, camote y olluco.*

	Peso inicial del tubérculo entero kg	Peso de almidón obtenido con 5% de humedad, gramos	Rendimiento de almidón, %
<b>Papa</b>	2,00	210,6	10,53
<b>Camote</b>	2,00	396,8	18,84
<b>Olluco</b>	2,00	105,2	5,26

Fuente: Los autores

## 5.3 RENDIMIENTO DE GLUCOSA DE LOS ALMIDONES DE PAPA, CAMOTE Y OLLUCO

En la Tabla 7 se resume el rendimiento de glucosa obtenido en base a la hidrólisis enzimática de los almidones de papa, camote y olluco.

Tabla 7

*Rendimiento de glucosa en base al peso de los almidones de papa, camote y olluco*

	Peso inicial del almidón, gr	Concentración de glucosa en mosto obtenido, gr/litro	Peso de glucosa obtenido, gr	Rendimiento de glucosa %, en base al peso del almidón
<b>Papa</b>	60,00	178,74	53,62	89,37
<b>Camote</b>	60,00	164,96	49,49	82,48
<b>Olluco</b>	60,00	149,04	44,71	74,51

Fuente Los autores

#### 5.4 RENDIMIENTO DE ETANOL DE LOS ALMIDONES DE PAPA, CAMOTE Y OLLUCO.

En la Tabla 8 se muestra el rendimiento en alcohol etílico, expresado como los grados alcohólicos obtenidos ( $^{\circ}\text{GL} = \% \text{ v/v}$ ), en litros de etanol por kg de almidón y litros de etanol por kg de papa, camote y olluco.

Tabla 8

*Rendimiento de etanol de los almidones de papa, camote y olluco*

	$^{\circ}\text{GL}$ obtenido	Total etanol obtenido, mL	Rendimiento, litros de etanol/kg de almidón	Rendimiento, litros de etanol/kg de tubérculo
<b>Papa</b>	10,6	31,80	0,3926	0.0413
<b>Camote</b>	9,8	29,40	0,3629	0.0719
<b>Olluco</b>	10,1	30,30	0,3740	0,0196

Fuente: Los autores

## VI. DISCUSION

De la Tabla 5 se demuestra que el almidón de olluco desde el punto de vista alimentario tiene mejores propiedades en relación a los almidones de papa y camote. Sin embargo a pesar de ser más nutritivo en el mercado se expende almidones de papa y camote, mas no el de olluco.

En la misma Tabla 5 se puede observar que el contenido de amilosa es mayor en el almidón de olluco y menor en el almidón de papa. El almidón de camote tiene un contenido de amilosa parecido al almidón de papa. El contenido de amilosa tiene una gran influencia en la etapa de licuefacción del almidón para sacarificarlo debido a que el primer ataque de la estructura compleja del almidón se inicia en la parte conocida como amilosa (Ruiz, Molina, Torres & Sánchez, 2013).

La Tabla 6 es demostrativo que el camote tiene un mayor rendimiento de almidón, después sigue la papa y finalmente el olluco. Los valores son semejantes a otros estudios. Por ejemplo Zarate y colaboradores (2013) encontraron que el contenido de almidón en la papa vario de 8,67 hasta 22,72 %. Respecto al camote, Vargas y Hernández (2012) hallaron que el camote en la variedad morado tenía un contenido de almidón variable entre 17,4 a 26,2%. Respecto al olluco hay pocos estudios como el de Surcos (2014) donde se encontró que el contenido de almidón llego en promedio a 6,4%.

La Tabla 7 presenta los el rendimiento de glucosa de los almidones de papa, camote y olluco. Para comparar la similitud se hidrolizo la misma cantidad de almidón, es decir 60 gramos. En este proceso de hidrolisis de almidón el mayor rendimiento fue para el almidón de papa, alcanzando un valor de 89,37% que representa 0,89 kg de glucosa por kg de almidón. Si se compara este valor con el rendimiento estequiométrico que es 1.1 kg de glucosa/kg de almidón (Mei, 2006) el rendimiento obtenido seria 80,91%, menor que el reportado. El de más bajo rendimiento fue el almidón de olluco. Los rendimientos obtenidos estarían relacionados con el contenido de amilosa

en los almidones. Según Ruiz y colaboradores (2013) la facilidad de hidrólisis del almidón está relacionado inversamente con el contenido de amilosa, y en este caso el de mayor contenido es el olluco y el de menor contenido es la papa. Se deduce que el almidón de papa tendría mejor facilidad para la hidrólisis y por lo tanto mayor rendimiento.

El rendimiento en etanol de los almidones ensayados es semejante debido a que se empezó el proceso con una solución estandarizada con el mismo contenido de glucosa. El rendimiento promedio alcanzado es 0,3435 litros de etanol por kg de almidón. Si se considera el peso de glucosa obtenido, por ejemplo el de la papa (72,39 g) el rendimiento logrado fue de 0.439 litros por kg de glucosa que comparado con el rendimiento estequiométrico de 0,65 litros de etanol por kg de glucosa (Galvis, 2009), el rendimiento obtenido fue de solo % 67,53%. Basándose en el contenido de almidón el que dio mayor rendimiento por kilogramo de materia prima fresca fue el camote, debido a que tuvo un contenido de almidón de 18,84% un valor cerca del doble que el de la papa y cerca de cuatro veces más comparado con el olluco.

## VII. CONCLUSIONES

1. Se comparó el rendimiento de la fermentación alcohólica a partir del almidón de la papa (*Solanum tuberosum*), camote (*Ipomoea batata*) y olluco (*Ullucus tuberosus*).
2. El proceso se realizó en tres partes: obtención del almidón, sacarificación del almidón y fermentación de la glucosa obtenida.
3. En la etapa de extracción del almidón, el mayor rendimiento fue el camote, obteniendo 18,84% en comparación con 10,53% y 5,26% de la papa y el olluco respectivamente. Estas diferencias parecen estar determinadas por el tamaño del tubérculo y de los gránulos de almidón entre otras características.

En la etapa de sacarificación el mayor rendimiento fue para el almidón de papa dando un valor de 89,37% de glucosa obtenida en base al almidón utilizado. En base al rendimiento estequiométrico el rendimiento obtenido fue de solo 80,91%. Los rendimientos en base al almidón utilizado fueron 82,48 y 74,51 % respectivamente.

4. Los diferentes rendimientos de glucosa en base al almidón se debería al diferente contenido de amilosa de cada tipo de almidón.
5. Los rendimientos de etanol en base al almidón utilizado fueron semejantes pero en base a la materia prima fresca fueron muy diferentes, siendo el camote el de mayor rendimiento (0,0719 litros de etanol por kg de camote) seguido de la papa (0,0413 litros de etanol por kg de papa) y de menor rendimiento para el olluco (0,0196 litros de etanol por kg de olluco). Técnicamente el camote es el tubérculo de mayor rendimiento tanto en almidón como en etanol.



## **VIII. RECOMENDACIONES**

1. Determinar con exactitud las temperaturas de gelatinización para los distintos almidones, debido a que esta temperatura está influenciada por el contenido de amilosa y amilopectina que son muy diferentes.
2. Ampliar los estudios y verificar las condiciones de trabajo para la obtención de etanol de papa y camote, los tubérculos más promisorios para esta producción.
3. Establecer la comparación de la conveniencia económica de la producción de etanol a partir de papa y camote.
4. Ensayar sacarificación y fermentación simultánea (SFS) con almidones de papa y camote.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alfaro, G. & Illanes, V. (2009). Obtención de Harinas de Raíces y Tubérculos Andinos en Raíces y Tubérculos Andinos. *Avances de Investigación I*, 223-241.
2. Andrade R, Torres R, Montes E, Perez O, Acuña C. y Narváez G. (2009). Obtención de aguardiente a partir de batata (*Ipomoea batata*). *Revista Temas Agrarios* 4 (1).
3. Arica, R. (1997). Rendimiento de etanol por fermentación del fruto algarrobo (*prosopis pallida*) con *sacharomyces cereviseae*. Tesis. Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
4. Barrera, V., Monteros, A., y Tapia, C, (2004), Raíces y tubérculos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Recuperado de <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Ra%C3%ADces%20y%20Tub%C3%A9rculos%20Alternativas%20para%20el%20uso%20sostenible%20en%20Ecuador.pdf>
5. Fairlie, T., (1999), *Raíces Y Tubérculos Andinos Avances de Investigación*. Cochabamba, Ecuador: International Potato Center.
6. Galvis, J. (2009). Estudio del proceso de fermentación de glucosa para la producción de bioetanol a partir de levaduras nativas. Tesis. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
7. Gonzales, F., Molina C. (2006), Estudio de los factores que afectan las hidrólisis enzimática y el proceso fermentativo para la producción de alcohol a partir de la papa (*Solanum tuberosum*). *Revista de la Universidad de Costa Rica* 16 (1) 29-39.
8. Hernandez, M., Torruco, U., Chel, G., Betancur, A. (2008). Caracterización de almidones de tubérculos cultivados en Yucatan, México. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28 (3), 718-726.
9. Melian, D. (2010). Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chile y dos variedades comerciales. Tesis. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
10. Montalvo, A. (1991). Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. San José, Costa Rica.

11. Morales V., Sonia P. (2004). Simulación de un bioproceso para la obtención de jarabes glucosados y fructosados a partir de almidón de yuca. Tesis. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
12. Patiño, F. (1998). Estudio del rendimiento potencial de la papa (*Solanum tuberosum*), papalisa (*Ullucus tuberosa*), oca (*Oxalis tuberosa*) e isaño (*Tropaeolum tuberosum*). Tesis. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
13. Sánchez, O. Y Cardona A. (2007). Producción de alcohol carburante, una alternativa para el desarrollo agroindustrial. Tesis. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
14. Surco, F (2004). Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica. Tesis. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
15. Vargas, A. & Hernzandez, V. (2013). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Revista Tecnología en Marcha*. 26(1). 37-45.
16. Vargas, G., Martinez, P., Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidon de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*. 7(3). 223-230.
17. Zarate, P., Ramirez, S., Otalora, S., Prieto, L., Garnica, H., Ceron, L, Arguelles, J. (2013). Extracción y caracterización del almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*). *Revista Latinoamericana de la papa*. 18(1). 1 – 24.

## X. ANEXOS

### ANEXO 1



Lavado



Pelado



Pesado



Rayado



Licuada



Filtrado

*Figura 1A. Pasos para la obtención de almidón de Papa. Elaborado por los autores*



Fibra



Sedimentado



Almidón

*Figura 1B. Pasos para la obtención de almidón de Papa. Elaborado por los autores*

## ANEXO 2



Lavado



Pelado



Pesado



Rayado



Licudo



Filtrado

*Figura 2A. Pasos para la obtención de almidón de Camote. Elaborado por los autores*





Fibra



Sedimentado



Almidón

*Figura 2B. Pasos para la obtención de almidón de Camote. Elaborado por los autores*

## ANEXO 3



Lavado



Rayado



Licuada



Filtrado



Sedimentado



Almidón

*Figura 3. Pasos para la obtención de almidón de Olluco. Elaborado por los autores.*



## ANEXO 4



Almidón de Papa



Almidón de camote



Almidón de olluco



Dilución del almidón seco

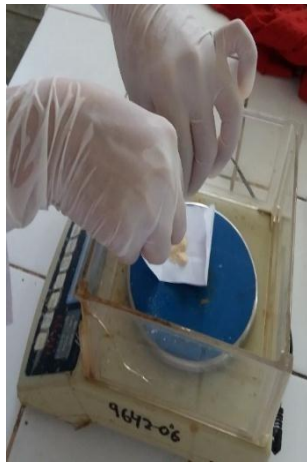


Sistema de calentamiento al reactor

Figura 4A. Pasos para la sacarificación del almidón. Elaborado por los autores.



Estandarizado del Ph a condiciones óptimas



Disolución de la enzima alfa amilasa



Mezcla de la enzima al reactor para dar inicio a la hidrólisis enzimática

*Figura 4B.* Pasos para la sacarificación del almidón. Elaborado por los autores.



Muestra del reactor al finalizar  
la hidrólisis enzimática



Prueba de lugol



Enfriado de los reactores

*Figura 4C. Pasos para la sacarificación del almidón. Elaborado por los autores.*

## ANEXO 5



Estandarizado de Ph



Preparado de inóculo



Mosto fermentado

*Figura 5. Pasos para la fermentación del mosto obtenido. Elaborado por los autores.*

## ANEXO 6



A cinco días transcurridos la fermentación



Medida del volumen  
total



Toma de 300 ml del mosto  
fermentado



Proceso de destilación simple

*Figura 6. Pasos para la destilación del mosto fermentado. Elaborado por los autores.*