

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Química

**OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DE
PAPA VARIEDAD UNICA**

TESIS

Presentada por:

Bach. Elmer Jesús Ramos Ortega

Para optar el título profesional de:

INGENIERO QUÍMICO

Tacna – Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

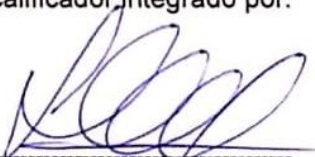
Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Química

**OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DE
PAPA VARIEDAD UNICA**

Tesis sustentada y aprobada el 04 de noviembre de 2021, estando el jurado calificador integrado por:

Presidente



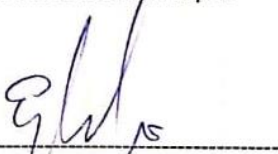
Mgr. Pedro Nolazco Cornejo del Carpio

Secretario



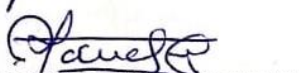
Dr. Edilberto Pablo Mamañi López

Vocal



Dr. Edgardo Oscar Avendaño Cáceres

Asesor



Mgr. Manuel de Jesús Sánchez Rosales

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios creador del universo y toda ciencia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haber propiciado la materialización de este trabajo. A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por formarme como profesional y brindarme sus laboratorios para la ejecución de la investigación. A mi asesor Msc. Manuel Sánchez Rosales, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su esfuerzo y dedicación, han contribuido de manera activa con los trabajos realizados.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iii
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.4. OBJETIVOS	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
1.5. HIPÓTESIS.....	9
1.6. VARIABLES.....	9
1.7. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.8. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
CAPÍTULO II.....	13
2.1 BASES TEÓRICAS	13
2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	40
CAPÍTULO III	53

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	53
3.2. POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO	54
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	55
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS	56
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS (ANÁLISIS ESTADÍSTICO).....	63
CAPÍTULO IV	65
4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	65
4.1.1. Análisis estadístico	65
4.1.2. Gráficos estadísticos	70
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Operacionalización de variables	11
Tabla 2: Cédula de cultivo de la región de Tacna	18
Tabla 3: Resistencias y Tolerancia de la variedad UNICA, Canchán y Tomasa	24
Tabla 4: Rendimiento de la variedad UNICA en comparación con otras variedades	25
Tabla 5: Niveles de Fe, Zn y Vitamina C en diferentes variedades de papa (Junín - Perú)	26
Tabla 6: Operacionalización de Variables	55
Tabla 7: Delimitación de rangos de trabajo	57
Tabla 8: Fijación de rangos de trabajo	58
Tabla 9: Alcohol producido en ml	65
Tabla 10: Arreglo de datos para procesamiento en programa estadístico	66
Tabla 11: Variables del diseño	67
Tabla 12: Análisis de varianza para el rendimiento	68
Tabla 13: Efectos estimados para el rendimiento	69
Tabla 14: Resumen estadístico para residuos	70
Tabla 15: Comparación de resultados con los de otras investigaciones ..	88

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Producción y Superficie Cosechada de Papa en el Perú	16
Figura 2: Producción y superficie cosechada en la región de Tacna.	17
Figura 3: Genealogía de la variedad UNICA.	20
Figura 4: Tallo, hoja, tubérculo y flor de la variedad UNICA.	21
Figura 5: Estabilidad de la variedad UNICA.	22
Figura 6: Amilosa.....	28
Figura 7: Amilopectina.....	30
Figura 8: Alcoholímetro ZL-1021	63
Figura 9: Diagrama de Pareto para Rendimiento	71
Figura 10: Efectos principales para el rendimiento.....	72
Figura 11: Interacción para el rendimiento	73
Figura 12: Superficie de respuesta estimada	74
Figura 13: Balance de masa en la etapa de extracción de almidón.	74
Figura 14. Papa variedad UNICA picada.	75
Figura 15: Licuadora industrial 2HP.	75
Figura 16: Licuado industrial de papa Variedad UNICA.	76
Figura 17: Triturado de almidón de papa variedad UNICA.	76
Figura 18: Balance de masa de proceso de licuefacción.	77
Figura 19: Inicio de proceso de licuefacción.	77

Figura 20: Gelatinización del almidón	78
Figura 21: Diastasa de maíz.....	78
Figura 22: Licuefacción del almidón.....	79
Figura 23: Balance de masa del proceso de sacarificación	79
Figura 24: Sacarificación del almidón.	80
Figura 25: Balance de masa del proceso de fermentación	80
Figura 26: Activación de levadura en solución azucarada tibia.	81
Figura 27: Fermentación del almidón hidrolizado en laboratorio.....	81
Figura 28: Balance de masa del proceso de destilación.	82

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia el proceso de obtención de alcohol etílico (etanol) a partir de papa, variedad UNICA. Se trabaja con un diseño experimental Factorial-Multinivel, estudiando tres factores que intervienen en el proceso como son A: Tiempo de hidrólisis enzimática (h), B: Cantidad de agua (ml) y C: Cantidad de enzima (g) siendo la variable de salida: Rendimiento (%).

Del análisis estadístico efectuado se tiene que las variables A, B y C son estadísticamente significativas sobre la variable de respuesta, asimismo, sólo la interacción AB presenta significancia estadística sobre la variable de salida analizados al 95 % de nivel de confianza. El mejor valor de rendimiento del proceso es de 6,62 % que corresponde al nivel “4 horas” del factor A, “500 ml” del factor B y “10 g” del factor C todo ello a partir de 740 g de materia prima utilizada.

El mejor rendimiento es de 6,62 % V/P lo que significa que a partir de 740 g de papa variedad UNICA es posible obtener 48,96 ml de etanol anhidro apto para el uso industrial. El rendimiento obtenido es relativamente menor respecto a las investigaciones llevadas a cabo por otros autores; sin embargo, esto se debe, principalmente, a la materia prima utilizada y a

la clase de enzimas usadas ya que las enzimas usadas en esta investigación son de procedencia artesanal como son la diastasa de maíz (alfa amilasa) y el trigo molido (beta amilasa) a diferencia de otras llevadas a cabo con enzimas específicas purificadas de marcas registrada.

Palabras clave: Papa, almidón, hidrólisis enzimática, alcohol etílico.

ABSTRACT

In the present work, the process of obtaining ethyl alcohol (ethanol) from potato, UNICA variety, is studied. We work with a Factorial-Multilevel experimental design, studying three factors that intervene in the process such as A: Enzymatic hydrolysis time (h), B: Amount of water (ml) and C: Amount of enzyme (g) being the variable Output: Yield (%).

From the statistical analysis carried out, it is found that the variables A, B and C are statistically significant on the response variable, likewise, only the interaction AB presents statistical significance on the output variable analyzed at a 95% confidence level. The best performance value of the process is 6.62%, which corresponds to the level "4 hours" of factor A, "500 ml" of factor B and "10 g" of factor C, all from 740 g of raw material used.

The best yield is 6.62% V/P, which means that from 740 g of UNICA potato, it is possible to obtain 48.96 ml of anhydrous ethanol suitable for industrial use. The performance obtained is relatively lower compared to the research carried out by other authors; however, this is mainly due to the raw material used and the type of enzymes used, since the enzymes used in this research are of artisanal origin, such as corn diastase (alpha

amylase) and ground wheat (beta amylase) unlike others carried out with specific enzymes purified from registered trademarks.

Keywords: Potato, starch, enzymatic hydrolysis, ethyl alcohol.

INTRODUCCIÓN

Los nuevos retos de la actualidad, entorno a la producción de energía, están orientados al uso de fuentes renovables, amigables con el medio ambiente, orientadas a la reducción de las emisiones de carbono en cumplimiento a los compromisos asumidos por las naciones en el protocolo de Kyoto. La utilización de productos agroindustriales en la producción de alcohol etílico está configurada dentro de estas premisas dado que permite la reducción de gases causantes del efecto invernadero en el sentido de que no insertan emisiones nuevas de carbono, como lo hacen los combustibles fósiles.

El presente trabajo gira en torno a la conversión, de uno de los polímeros de almacenamiento de energía más abundante del planeta como es el almidón, en una potencial fuente de energía o simplemente una sustancia capaz de utilizarse como materia prima en una diversidad de líneas de producción industrial, como es el etanol.

Se trabajó con la variedad de papa más abundante y más rústica de la región: variedad UNICA. Las técnicas usadas son sencillas y de fácil implementación en la industria agroindustrial. El proceso está compuesto de un conjunto de etapas como son la etapa de extracción de almidón,

gelatinización del almidón por acción de temperatura, hidrólisis por acción de enzimas, fermentación por levaduras de vinificación y finalmente la destilación para la obtención del producto final.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En Madrid-España se llevó a cabo una investigación de obtención de alcohol natural (alcohol etílico), el cual consta de tres etapas, la primera consistente en la hidrólisis del tubérculo camote, consecuentemente seguido de un proceso de fermentación del producto de la anterior etapa y por último la destilación de la solución alcohólica. La graduación alcohólica final del producto fue de 95 % grados Gay Lussac. El autor concluye que es factible la producción de alcohol etílico a partir del extracto de camote .(Jadán, 2011).

En Caracas-Venezuela se realizó un trabajo de investigación en torno a la obtención de alcohol carburante a partir del almidón como materia prima. El procedimiento consistió en la degradación de este polímero de origen vegetal mediante hidrólisis enzimática utilizando alfa amilasa como enzima bajo un proceso térmico controlado entre 90 ° C y 100 ° C. El autor concluye que a partir de 100 g es posible obtener 111 g. (Sánchez & Cardona, 2005).

En Ibarra-Ecuador se realizó un trabajo de investigación consistente en la obtención de una bebida espirituosa (Vodka) teniendo

como materia prima la papa, utilizando para esto tres variedades. Asimismo, el autor utilizó dos marcas comerciales de enzimas para el procedimiento de hidrólisis enzimática. En esta investigación se concluye que si es posible obtener la bebida Vodka a partir de las variedades de papa Superchola, Capiro y Gabriela .(Benavides & Pozo, 2008).

La Universidad Rafael Landívar-Guatemala publicó un artículo científico en el cual se da a conocer estudios en diferentes productos como materia prima como fuentes potenciales en la producción de etanol a fin de encontrar sustitutos de las fuentes tradicionales de azúcares. En este artículo la autora concluye que la papa es la materia prima más rica en almidón y con un gran potencial para la producción de bioetanol. (Hernández, 2007).

En Montevideo-Uruguay se desarrolló una investigación orientada a la producción de biocombustibles usando como materia prima el Bioniato. Esta investigación consiste en la hidrólisis del almidón del Bioniato utilizando las enzimas alfa amilasa y amiloglucosidasa de origen comercial. En el proceso de fermentación se trabaja con levaduras de panadería. En esta investigación se concluye que es posible obtener 5000 litros de alcohol etílico a partir de una superficie de cultivo de una hectárea. (Guigou, 2011).

En la ciudad de Quito-Ecuador se desarrolló una investigación técnica-económica del proceso de obtención de alcohol etílico usando como materia prima camote bajo técnicas convencionales en el proceso de producción. Se utilizó enzimas específicas en la hidrólisis y sacarificación concluyéndose que los costos de producción son menores a los ingresos, por lo cual es rentable. (Zambrano, 2013).

En Lima-Perú se llevó a cabo una investigación a nivel de laboratorio en torno a la obtención de alcohol etílico teniendo como materia prima papa peruana, para cual se trabajó con una etapa de hidrólisis enzimática y una siguiente etapa de fermentación en la cual el autor concluye que es posible obtener un total de 69 litros de alcohol etílico con una concentración de 96 % V/V por 1000 Kg de papa.(Usucachi, 2011).

En Chiclayo-Perú se desarrolló una investigación en torno al estudio de la viabilidad de una planta de procesamiento de papa para la producción de alcohol etílico para su uso como aditivo en la industria de combustibles. En esta investigación se concluye que el proyecto es viable tanto en el aspecto técnico como económico. (Cruz & Millones, 2014).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible la obtener alcohol etílico a partir de papa variedad UNICA?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La papa posee una demanda inelástica, es decir que, un exceso de oferta de este producto causa una caída brusca en los precios, de manera que el agricultor siempre se ve afectado y muchas veces no recibe un precio justo por sus cosechas.

Por otro lado, sobre la producción del alcohol etílico, el ingeniero Sáenz, A. (2016), ejecutivo de la empresa Caña Brava, precisa que la demanda de este insumo supera la producción nacional, dado que la producción alcanza como máximo el 40 % de la cantidad demandada. La demanda industrial está definida principalmente por el rubro combustibles, la misma que se aditiva en un 7,8 % – 10 % de alcohol etílico anhidro.

Según los datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2016), el Perú realizó importaciones en el periodo comprendido de mayo de 2015 a mayo de 2016, por concepto de Alcohol Etílico (como producto intermedio para la industria), un total de US\$ 8 000 000 en precios FOB; pudiéndose inferir que existe en el país un déficit en

la producción de este producto químico como insumo para producción de otros derivados.

Justificación técnica

La justificación técnica radica en que existe un déficit de la producción nacional de alcohol etílico para su uso en diferentes industrias como son: combustibles, farmacéutica, bebidas, etc.

Importancia

La importancia radica en que se va demostrar que es posible obtener alcohol etílico a partir de papa variedad UNICA, la misma que constituirá una alternativa de industrialización del referido producto agrícola, en la región de Tacna.

Trascendencia

El presente estudio es pionero en la región Tacna, ya que no presenta antecedentes similares y representa una alternativa nueva de industrialización de la papa (que podría extenderse a futuro a productos agrícolas con similares características fisicoquímicas tales como el camote, maíz, etc.). El presente estudio permitirá dar un valor agregado a la papa y contribuirá al crecimiento del sector agroindustrial en la región Tacna y del país.

Relevancia

La relevancia del presente trabajo radica en que insertará una nueva alternativa de industrialización de la papa y abrirá nuevos mercados para este producto. Los resultados que se presentan en el presente trabajo, serán de suma importancia para la actividad económica en la región de Tacna, ya que, podrá ser usado en la toma de decisiones del sector agroindustrial.

El presente trabajo servirá de base para la elaboración de nuevos estudios a partir del alcohol de papa, tales como el bioetanol, alcohol anhidro, cosméticos, medicina. etc.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

- Obtener alcohol etílico a partir de papa variedad UNICA.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el valor adecuado de tiempo de hidrólisis enzimática utilizado en el proceso.
- Determinar el valor adecuado de volumen de agua utilizado en el proceso.

- Determinar el valor adecuado de cantidad de enzima utilizado en el proceso.

1.5. HIPÓTESIS

4.1.1. Hipótesis general

- Es posible obtener alcohol etílico a partir de papa variedad UNICA.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Identificación de variables

Variable independiente

- Tiempo de hidrólisis enzimática.
- Cantidad de agua utilizada en la hidrólisis enzimática.
- Cantidad de enzimas utilizado en el proceso.

Variable dependiente

- Rendimiento del proceso.

1.6.2. Caracterización de variables

Tiempo de hidrólisis enzimática

Tiempo que se mide una vez añadida la enzima hasta el fin del proceso de hidrólisis previo a la fermentación.

Cantidad de agua utilizada en la hidrólisis enzimática

Cantidad de agua destilada añadida al almidón en polvo previo a la gelatinización.

Cantidad de enzimas utilizadas en el proceso

Cantidad de enzima diastasa de maíz usada en el proceso de hidrólisis enzimática.

Rendimiento del proceso

Rendimiento (% V/P) obtenido al final del proceso, lo cual se obtiene realizando la división entre el volumen de alcohol resultante del proceso y la cantidad de materia prima utilizada.

1.6.3. Definición operacional de las variables

Tabla 1
Operacionalización de variables

VARIABLE	TIPO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES
Tiempo de hidrólisis enzimática.	Independiente	Tiempo que se mide una vez añadida la enzima hasta el fin del proceso de hidrólisis previo a la fermentación.	Tiempo expresado en horas cronológicas.
Cantidad de agua utilizada en la hidrólisis enzimática.	Independiente	Cantidad de agua destilada añadida al almidón en polvo para previo al proceso de gelatinización.	Mililitros de agua destilada.
Cantidad de enzimas utilizadas en el proceso.	Independiente	Cantidad de enzima diastasa de maíz usado en el proceso de hidrólisis enzimática.	Gramos de diastasa de maíz.
Rendimiento del proceso.	Dependiente	Rendimiento (% V/P) obtenido al final del proceso. Volumen de alcohol anhidro/masa de materia prima.	% Rendimiento.

1.7. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Una limitante es que no existen estudios de investigación realizados en la región de Tacna con papa o productos similares.

Otra limitante es la poca comercialización de enzimas participantes en el proceso, por lo cual se tuvo que recurrir a otras fuentes naturales;

sin embargo, la eficiencia del proceso podría verse afectado positivamente con el uso de enzimas más concentradas y específicas.

1.8. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo de estudio.

Experimental.

Porque se trabaja con tres variables independientes, cuyos efectos sobre la variable de salida son estudiados y medidos. En el presente estudio las variables independientes se someten a proceso de alteración y manipulaciones con objeto de poder estudiar sus efectos en la respuesta procurando que otros factores no pudieran afectar la observación.

Alcance de la investigación

Correlacional

Correlacional porque se busca determinar la relación existente entre las variables independientes (Tiempo de hidrólisis, cantidad de agua, cantidad de enzimas) y la variable dependiente (rendimiento del proceso).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 BASES TEÓRICAS

2.1.1. La materia prima

La papa

Es un tubérculo perteneciente a las más de 2000 especies que conforman la familia solanaceae entre las cuales se cuentan al ají, belladona, tabaco, tomate, petunia, etc. Este tubérculo es uno de los productos agrícolas de mayor importancia mundial en el ámbito alimenticio junto a cereales como son el arroz, maíz y trigo. Los beneficios de la papa se pueden valorar de la siguiente manera, un espécimen de tamaño mediano puede proporcionar vitamina C a la mitad de lo requerido por el organismo de una persona adulta. Otros productos de similar importancia alimenticia no poseen estos beneficios según es el caso del trigo o arroz. En lo referido a la grasa que proporciona este tubérculo son muy bajas comparadas con el trigo, tal es así que solo contiene un 25 % de las calorías del pan. Este tubérculo está presente en los cultivos de la mayorías de las regiones de nuestro país ya posee una amplia rusticidad pudiéndose cultivar desde la costa hasta la sierra por encima de los 4200

metro sobre el nivel del mar siendo uno de las principales fuentes de sustento económico y alimenticio de la población ubicada en la sierra peruana.(Ministerio de Agricultura y Riego, 2013).

Historia de la papa

Este tubérculo ha estado presente en el desarrollo de las culturas más remotas de nuestro país razón por la cual tiene presencia agrícola en la mayoría de las regiones. Los orígenes de la papa se remontan hacia atrás hasta hace unos 10 000 – 8 000 años cuando el hombre que habitaba el Perú comenzó la domesticación de este tubérculo, originalmente silvestre, en pequeñas parcelas efectuando el cruce de las diferentes especies que tuvieron al alcance. Es así que el antiguo agricultor peruano, fue efectuando la selección de las especies con características más favorables para su consumo teniendo en cuenta criterios tales como el tamaño, adaptación a diferentes características edafoclimáticas y la amargura. En exploraciones arqueológicas realizadas en la localidad de Chilca se pudo hallar las primeras evidencias de la presencia de la papa en nuestro Perú, la misma que data hace más de 8000 años. En la actualidad este tubérculo se cultiva de manera exitosa en todo el planeta habiéndose adaptado a todos los climas y suelos del mundo. (Usucachi, 2011).

Taxonomía

Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Subclase	:	Asteridae
Familia	:	Solanaceae
Género	:	Solanum
Especie	:	S. Tuberosum

Producción de la papa en el Perú

Durante el último quinquenio, la producción de este tubérculo ha experimentado un crecimiento sostenido en un 2,6 %, lo cual se explica en un aumento del área de cultivo; sin embargo, el rendimiento de producción agrícola de este cultivo permanece bajo. La estimación del Ministerio de Agricultura y Riego es que ha habido incrementos de la superficie cultivada de papas nativas en las principales regiones del país que abastecen este tubérculo al mercado nacional. (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013).

Los mayores niveles de producción de papa han tenido lugar durante el año 2013 registrándose un total de 4,57 millones de toneladas

de este cultivo en una superficie de cosecha de 316,9 de miles de hectáreas. (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013).

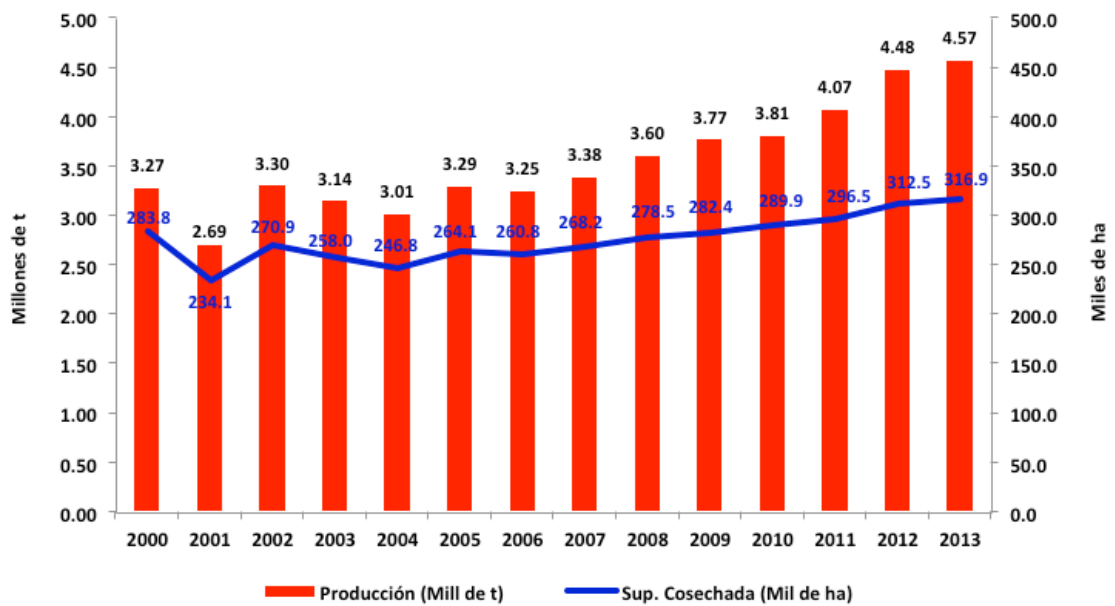


Figura 1: Producción y Superficie Cosechada de Papa en el Perú.
Fuente: MINAGRI, 2013.

Producción de Papa en Tacna.

Según los datos proporcionados por la Dirección de Información Agraria del Ministerio de Agricultura (2016), se tiene que en la región de Tacna la producción de papa ha experimentado una baja considerable respecto a años anteriores que se debe principalmente a la menor superficie cosechada según se representa en la Figura 2. El total producido durante el periodo 2013 se estima en 8 050 toneladas en una

superficie de cultivo de 459 hectáreas.(Dirección Estadística Agraria, 2016).

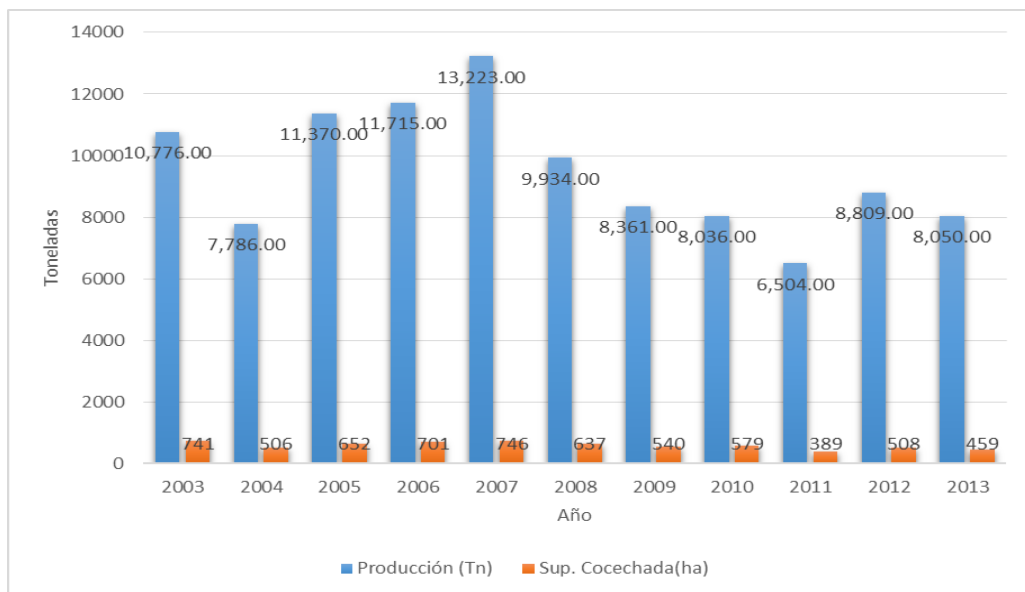


Figura 2: Superficie cosechada y producción en la región de Tacna.
Fuente: Dirección de Información Agraria - Ministerio de Agricultura, 2016.

Por otro lado, se ha realizado consultas en el MINAGRI-Tacna e INIA Tacna-Moquegua, respecto a la producción de la variedad UNICA; más no se encontró dicha información, dado que no cuentan con estadísticas de producción de papa por variedades, por razones que un registro de producción por variedades implicaría un mayor presupuesto del que actualmente disponen.

Tabla 2*Cédula de cultivo de la región de Tacna*

CULTIVO	PRODUCCI ON ANUAL (Tn)	SUPERFICIE CULTIVADA (ha)			RENDIMIE NTO (Kg/ha)	PRECIO EN CHACRA (S/ x Kg)
		TOTAL	COSECHA DA	CRECIMIE NTO		
Papa	8 809	508	508	-	17 341	0,97

Fuente: MINAGRI-Tacna, 2013.

Características químicas

El agua representa el 80 % de los componentes de este tubérculo seguidos por carbohidratos que ocupan el 16 a 20 % que están conformados por almidón que pueden ser hidrolizados a glucosa. La fibra representa el 1 a 2 % y están ubicados en la cascara o piel de la papa. Los azúcares presentes están en rango muy bajo estando conformados principalmente por glucosa, sacarosa y fructuosa. Otro de los compuestos que más abundan en este tubérculo son las proteínas, las mismas que conforman el 2 % de la papa ubicándose debajo de la piel del tubérculo. Las proteínas presentes en la papa son principalmente las albúminas en un 49 %, globulinas en un 26 %, protaminas en un 4,3 % y por último las glutelinas en un 8,3 %. En la papa también están presentes una amplia cantidad de aminoácidos y enzimas que se encuentran en función al tipo de cultivo y condiciones de almacenamiento. Existe una cantidad mínima de lípidos presentes en la papa en el orden de 0,1 %. La papa también es

rica en vitamina C y complejo B y minerales que en su conjunto representan el 1 % de la papa. (Usucachi, 2011).

Papa variedad UNICA

La variedad UNICA fue concebida gracias a investigaciones realizadas por el Centro Internacional de la Papa en asociación con la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Esta variedad es resistente al virus (PVY) y tiene otras bondades como son resistencia al nematodo del nudo, tolerancia a altas temperaturas, precocidad, rendimiento constante durante todas las estaciones del año así como tolerancia a sales por lo cual ha sido adoptado por la mayoría de los agricultores del Perú.(Gutiérrez, Espinoza, & Bonierbale, 2007).

El periodo de investigación para seleccionar esta variedad tuvo lugar en un periodo de tres años y en épocas diferentes, para lo cual estuvieron presentes las progenies escogidas en el diseño genético (Línea x Probador). La línea genealógica se representa en la siguiente figura:

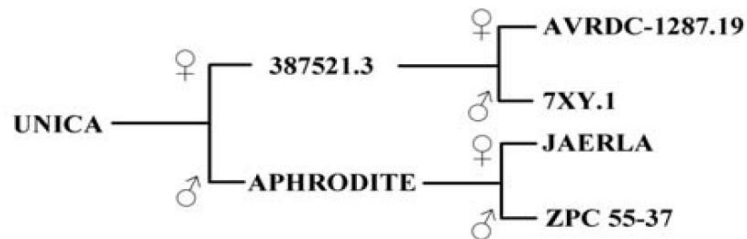


Figura 3: Línea genealógica de la papa variedad UNICA.
Fuente: Gutiérrez, Espinoza y Bonierbale, 2007.

El producto de la investigación recibió el código C92.140 asignándosele el código CIP No 392797.22, a este producto se le denominó variedad UNICA. Las características de la planta de esta variedad son herbácea y erecta, el color del tallo es de una coloración verde oscura llegando a medir entre 0,9 y 1,20 m. Sus hojas se encuentran distribuidas alrededor de tallo en una formación espiral. El diseño de la hoja es disectado conformado por 5 pares de folíolos ubicados en la parte lateral, asimismo sobre los peciolo se ubican un par de interhojuelas. La floración de la variedad UNICA varía según las regiones naturales, manifestando poca floración en la región costa durante la época primaveral y en invierno la floración es escasa. En la sierra se manifiesta mínima floración de color violeta presentando estolones largos. La forma del tubérculo es oblongo y un tanto alargado presentando una semiprofundidad en el ojo apical. Durante la primavera

presentan protuberancias en sus ojos y en invierno se vuelven lisos. (Gutiérrez et al., 2007).

La superficie del tubérculo tiene una tonalidad rosada, siendo más clara durante la estación primaveral en la región costa. En la región sierra la tonalidad de la piel es de color roja; sin embargo, en ambas condiciones, la pulpa mantiene una coloración crema. (Gutiérrez et al., 2007).

Las características descritas en los párrafos anteriores se representan en la siguiente figura:



Figura 4: Tallo, hoja, tubérculo y flor de la variedad UNICA.

Fuente: Gutiérrez *et al.*, 2007.

Estabilidad agronómica de la variedad UNICA

La variedad UNICA posee una buena estabilidad durante las diferentes estaciones del año, por lo cual es posible realizar labores de siembra durante todo el año, en contraste con otras variedades que no poseen esta bondad como son las variedades Canchan o Tomasa. (Gutiérrez et al., 2007).

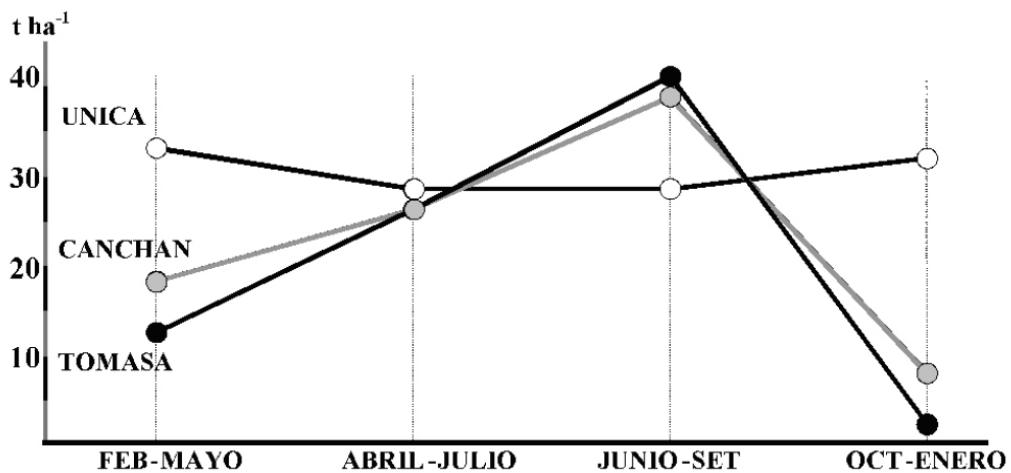


Figura 5: Estabilidad de la variedad UNICA.

Fuente: Fuente: Gutiérrez *et al.*, 2007.

El máximo rendimiento potencial de la variedad UNICA corresponde a una producción por hectárea de 50 toneladas. Este rendimiento se alcanza condiciones de invierno en la región costa y en temporadas húmedas en la sierra peruana. Los rendimientos más bajos se producen en la estación primaveral y en temporadas secas en las

cuales se alcanzan rendimientos promedios de 40 toneladas por hectárea. (Gutiérrez et al., 2007).

Resistencia a factores bióticos de la variedad UNICA

La variedad UNICA, ha pasado por una evaluación a fin de determinar características propias de la variedad relacionada con atributos tales como niveles de resistencia y tolerancia a diversos factores que afectan a este cultivo. Los factores bióticos evaluados son los siguientes: mosca minadora, nematodo, virus, marchitez bacteriana, tizón tardío, entre otros. Las evaluaciones se realizaron en el Standard Evaluation Trial SET, comparando a la variedad UNICA con otras variedades como la Canchan y Tomasa, siguiendo los protocolos estandarizados de cada una de las pruebas y cuyos se dan conocer a continuación. (Gutiérrez et al., 2007).

Tabla 3*Resistencias y Tolerancia de la variedad UNICA, Canchán y Tomasa*

Enfermedad	Variedades		
	UNICA	Canchán	Tomasa
PVY	ER	S	S
PVX	S	R	S
PLVR	MR	S	R
Rancha (<i>Phytophthora infestans</i>)	LR	LR	S
Mosca Minadora (<i>Liriomyza huidobrensis</i>)	S	S	S
Marchitez Bacteriana (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	MR	S	S
Nematodo del Nudo (<i>Meloidogyne ssp.</i>)	MR	S	MR

Donde: S=Susceptible, LR=Ligeramente Resistente, MR=Moderadamente Resistente, R=Resistente, ER=Extremadamente Resistente. (CIP, 2006).

Fuente: Gutiérrez, Espinoza y Bonierbale, 2007.

Atributos para el mercado de la variedad UNICA

La demanda principal de esta variedad es en la industria culinaria, para lo cual se usa la variedad UNICA en forma de frituras y dispuesta en tiras acompañado a platos populares de gran demanda entre la población nacional. Para esta industria el rendimiento es de 58 % del total en la obtención de tiras de tubérculo de 8 cm a más. A continuación se muestran los rendimientos de las variedades UNICA en comparación de las otras variedades como Canchan, Papiro, Perricholi, Tomasa y Yungay (Gutiérrez et al., 2007).

Tabla 4*Rendimiento de la variedad UNICA en comparación con otras variedades*

Variedad	Rdto. (t · ha ⁻¹)	Porcentaje sobre rendimiento total (%)			Rendimiento en tiras > 8 cm (t · ha ⁻¹)
		Comercial	Pelado-Retocado	Tiras > 8 cm	
Canchán	51	85	64	31	16
Capiro	43	83	58	32	14
Perricholi	62	70	52	27	17
Tomasa T.C.	43	81	56	28	12
UNICA	40	88	71	58	23
Yungay	58	79	58	30	17

Fuente: Gutiérrez *et al.*, 2007.

El promedio de la materia seca en la variedad UNICA alcanza valores de hasta 19,06 con rangos de más menos +/- 2,64 en 8 localidades ubicadas en la costa del Perú. Por otro lado, según se ha determinado que los niveles de azúcares reductores en el tubérculo se ubican entre los valores de 0,19 % y 1,59 %, esto como resultados de estudios realizados en cultivos ubicados en tres puntos de la costa peruana y bajo condiciones de tres épocas diversas del año. En cuanto a la medición cuantitativa de los niveles de glicoalcaloides presentes en la variedad UNICA, se ha hallado que se encuentran presentes en un valor ponderado de 2,15 mg/100 g, siendo un valor poco variable, esto en estudios realizados en dos puntos de siembra como son Nasca y la Molina y considerando tres épocas de siembra diferentes. Los valores de

Zinc y Hierro, en su calidad de micronutrientes importantes, y vitamina C bordean en su conjunto 100 gramos del total del peso seco del tubérculo. Esta información fue recogida de la investigación llevada a cabo a solicitud de Harvest Plus Challenge Program. (Gutiérrez et al., 2007).

Tabla 5

Niveles de Fe, Zn y Vitamina C en diferentes variedades de papa (Junín - Perú)

Variedad	Vitamina C mg/100 g PS	Fe mg/100 g PS	Zn mg/100 g PS
Amarilis	9,12 ± 0,79	0,32 ± 0,04	0,24 ± 0,10
Canchán	10,46 ± 1,02	0,37 ± 0,03	0,27 ± 0,13
Reiche	10,51 ± 0,62	0,46 ± 0,02	0,38 ± 0,15
UNICA	10,57 ± 0,47	0,43 ± 0,03	0,35 ± 0,14

Fuente: Gutiérrez, Espinoza y Bonierbale (2007).

2.1.2. El almidón

El almidón

Uno de los carbohidratos más importantes en la vida del hombre, es sin duda el Almidón, este insumo ha estado presente desde el inicio de la civilización formando parte activa en la alimentación de la humanidad siendo utilizada por el hombre desde la producción de alimentos hasta usos en diferentes industrias como materia prima. El almidón es un

compuesto que más abunda en la naturaleza, junto a la celulosa, es uno de los polisacáridos más importantes en el plano comercial. El almidón está presente en diversos productos agrícolas encontrándose en cereales, frutas y principalmente en tubérculos formando parte de la reserva energética. Los niveles de almidón en los productos agrícolas están en función de la madurez, es así que, en frutas, como el plátano, la mayor concentración de almidón se registra en la fruta verde poseyendo mayor composición que los azúcares. A medida que la fruta alcanza mayor madurez, los azúcares empiezan a elevar su concentración como producto de la hidrólisis por acción de enzimas como la amilasa dando como producto la fructuosa y la sacarosa los cuales le dan la dulzura característica de las frutas. Químicamente este polisacárido está compuesto por dos polímeros similares como son la amilopectina y amilosa. La amilosa está compuesta por millones de cadenas lineales de carbono unidos por medio de enlaces glucosídicos alfa 1, 4. Por otro lado la amilosa viene dado por cadenas de alfa maltosa, que, a diferencia de la amilopectina, no es lineal, muy por el contrario, presenta ramificaciones y con forma tridimensional helicoidal con seis moléculas de glucosa por cada vuelta en la hélice. (Badui, 2006).

Amilosa

La amilosa está conformada por una inmensa cadena lineal de carbono de α -D-glucopiranosilo estando enlazados por enlace 1-4; sin embargo, está documentado la existencia de moléculas con ramificaciones pequeñas en la posición 1-6 en una proporción de 1 en 180-320 unidades representado en el orden del 0,3 – 0,5 %. Las escasas ramificaciones de esta molécula están separadas por distancias enormes siendo a veces largas y a veces cortas; sin embargo, al estar en su mayoría conformado por moléculas lineales, las propiedades de la amilosa están definidas por las propiedades de estas últimas. El peso molecular de la amilosa es de aproximadamente del orden de 10^6 . (Fennema & Tannenbaum, 2000).

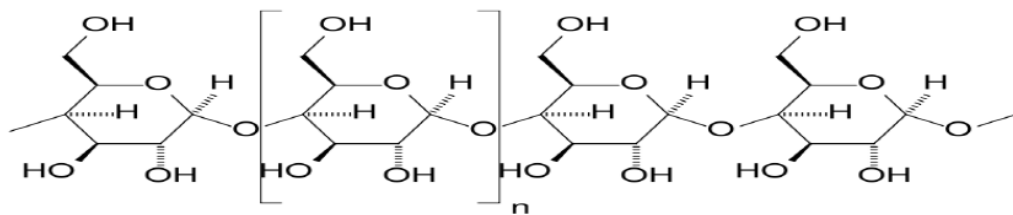


Figura 6: Amilosa.

Fuente: Benavides, 2008.

Amilopectina

A diferencia de la amilosa, la amilopectina es una molécula que presenta ramificaciones tridimensionales presentando enlaces de

ramificación que representan un porcentaje de 4 a 5 %. Esta molécula está conformada por una larga cadena carbonada teniendo únicamente un extremo reductor, que se le ha nombrado como cadena-C, la misma que posee múltiples ramificaciones que se denominan cadena-B, a la misma que se encuentran acopladas numeras ramas denominadas cadena-A. La forma que presenta esta molécula es la de un racimo, presentando hélices dobles, estando su peso molecular entre los valores de 10^7 a 5×10^8 lo que convierten a esta molécula en una de las más grandes existentes en la naturaleza. Esta molécula tiene presencia en todos los productos almidonados conformando el 75 % del almidón común. Los almidones que están conformados únicamente por amilopectina se le denominan almidón céreo. El cultivo cuyo fruto posee el almidón formado exclusivamente por amilopectina es el maíz céreo, su denominación es debido a que la superficie de los granos tiene apariencia vítrea o cérica. A los demás almidones cuya conformación es también exclusivamente por amilopectina se les llama también céreos, a pesar que estos no tienen apariencia cérica. En el caso del almidón de la papa, presenta una particularidad, es la única que contiene un grupo funcional éster fosfato unido a menudo (60 – 70%) en una configuración 0 – 6, siendo que la otra tercera parte se encuentra en una posición 0 – 3. (Fennema & Tannenbaum, 2000).

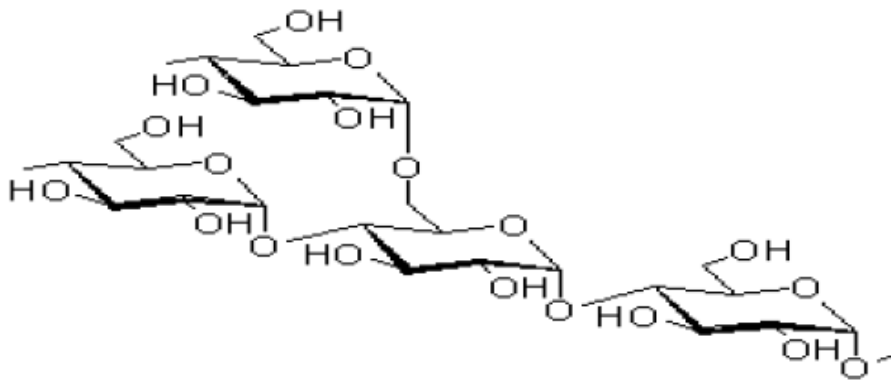


Figura 7: Amilopectina.
Fuente: Benavides, 2008.

Hidrólisis

El proceso de la hidrólisis está dado por la descomposición del radical hidroxilo y el catión H^+ en la formación de otro producto químico. Al ser el agua un disolvente universal, la hidrólisis puede llevarse a cabo en presencia de un pH ácido o enzimas. (Herrera & Meers, 2013).

La hidrólisis ácida en el almidón consiste en la ruptura de los enlaces de las cadenas carbonadas de la dextrina. La presencia de diferentes factores como son el pH, el tiempo y la temperatura definen la hidrólisis ácida. Asimismo, características como el peso molecular, la viscosidad están relacionados en proporción inversa al poder de reducción. Los compuestos químicos más utilizados para llevar a cabo procesos de hidrólisis ácida en el almidón son el ácido clorhídrico y el ácido nítrico. Los

factores tales como el tipo de ácido a usar, la concentración, la temperatura, presión y relación másica son variables que definen el tiempo de sacarificación del almidón. Durante el proceso de hidrólisis acida, el pH en el cual se debe llevar a cabo el proceso es 1,5 debiéndose regular las variaciones con la adición de ácido a fin de mantener este valor de pH. (Herrera & Meers, 2013).

La hidrólisis enzimática del almidón está dada por la degradación del almidón por acción de enzimas como catalizadores los cuales rompen la cadena del resultando productos similares a la obtenidas en el proceso de la hidrólisis ácida. Las enzimas que más se utilizan en la degradación del almidón son las amilasas dentro de las cuales se puede nombrar a la α -amilasa y β -amilasa. La α -amilasa es la encargada de transformar el almidón en dos azúcares más simples que son la maltosa y glucosa; está definida por la simplicidad en la degradación del almidón en compuestos tales como la dextrina reductora, las mismas que nos son susceptibles a la prueba de yodo, por otro lado la acción de la β -amilasa nos da como resultado la conversión del almidón en glucosa. (Herrera & Meers, 2013).

Enzima

Es un compuesto químico, básicamente una proteína que participa activamente en reacciones bioquímicas con velocidades de reacción muy

elevadas actuando como catalizador. Las enzimas no se consumen en la reacción; sin embargo, pueden influir en la velocidad de reacción siendo muy específicas. La etimología de la enzima deriva del idioma griego significando “en la levadura” debido a que inicialmente se tenía la idea de que las enzimas actuaban dentro de las células. El gran científico Pasteur clasificó a las actividades de las enzimas en dos tipos según sus actividades, fermentos organizados y fermentos no organizados. Buchner dio a conocer, en 1897, que se podía producir etanol de azúcares usando levaduras libres de células. Es hasta 1926 que Sumner por medio de la cristalización de la ureasa demostró que la enzima era una proteína. (Badui, 2006).

Alfa-amilasa

La alfa-amilasa es una enzima endohidrolasa que tiene el poder de romper el enlace alfa 1-4 de la cadena carbonada de la amilosa y amilopectina, dando como productos otros compuestos a manera de dextrinas de 10 a 20 unidades de glucosa. Esta enzima tiene la capacidad de reducir el valor de la viscosidad en soluciones almidonadas. La alfa-amilasa actúa degradando ambos lados del enlace glucosídico adyacentes al enlace alfa 1-6 del polímero amilopectina; sin embargo, no

actúa directamente sobre este enlace. Existen producción de esta enzima por medio de microorganismos del género bacillus los cuales se consideran como metalo-enzimas que dependen del catión calcio, el mismo que le proporciona estabilidad frente al calor y evita su desnaturalización, También se ha registrado producción de alfa amilasa a partir de hongos generalmente de las especies *Apergillus*. (Badui, 2006).

Beta-amilasa

Esta enzima participa en la hidrólisis del almidón atacando los extremos no reductores del polímero amilosa liberando unidades de maltosa en forma secuencial. Su acción sobre la amilopectina es similar, atacando los extremos no reductores, dando como producto maltosa; sin embargo, no tiene acción sobre los enlaces 1-6 por lo que genera un producto residual redondeado de la amilopectina que se denomina dextrina limite, siendo su nomenclatura especifica dextrina beta-limite. (Fennema & Tannenbaum, 2000).

Glucoamilasas

Son enzimas que actúan sobre los enlaces alfa 1-4 y alfa 1-6, su acción es por el extremo no reductor de los glucanos dando como producto beta glucosa, ocurriendo la inversión del azúcar de manera similar a la beta amilasa. La glucoamilasa tiene la capacidad de hidrolizar

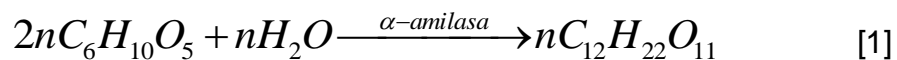
completamente al almidón si le se expone durante un periodo de tiempo suficiente, esta propiedad de esta enzima lo convierte en uno de los principales catalizadores en el proceso de fabricación de los jarabes de glucosa. La obtención de esta enzima es a partir de *Aspergillus niger* y *Rhizopus delemar* los mismos que tiene registro de síntesis en 1957. (Badui, 2006).

2.1.3. Procesos bioquímicos

Licuefacción

Es un proceso mediante el cual el almidón insoluble en el agua se convierte, con ayuda del calor, en dextrina soluble teniendo como catalizador a la enzima alfa amilasa. La sacarificación consiste en obtener como producto glúcidos de bajo peso molecular teniendo como reactantes dextrinas y oligosacáridos. (Zambrano, 2013).

La ecuación química que describe la licuefacción es la siguiente:

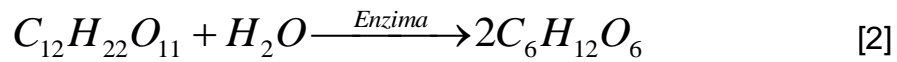


La acción de la alfa-amilasa da como resultado maltosa y glucosa a partir de la amilosa del almidón llevándose de esta manera un cambio en las características de la solución como es la variación de la viscosidad del fluido y el dulzor de la misma; a pesar de ello, la alfa-amilasa solo tiene acción parcial sobre la amilopectina y el glucógeno dado que no posee el poder para poder degradar los enlaces 1-6 de los puntos de las ramificaciones de la cadena carbonada del almidón. Esta enzima opera a altas temperaturas, teniendo termo estabilidad, siendo su rango de operatividad de 70 a 90 °C y el rango de pH es de 5 a 7. (Zambrano, 2013).

Sacarificación

En este proceso, se llevan a cabo la transformación de los polímeros del almidón en glúcidos fermentables como son la glucosa, sacarosa, levulosa y maltosa. Este proceso se lleva a cabo por métodos químicos y microbianos. (Reyna, Robles, Reyes, Mendoza, & Romero, 2004).

La reacción de sacarificación viene representada por la siguiente ecuación química:



Fermentación

Es un proceso que se lleva a cabo en medio anaerobio teniendo como reactantes azúcares como la glucosa, dando como productos biomasa o metabolitos. El proceso se desarrolla en un biorreactor o fermentador. En este proceso los microorganismos presentes aumentan en número al mismo tiempo que se van formando productos nuevos como producto de los procesos anabólicos y catabólicos.(Zambrano, 2013).

Fermentación alcohólica

Este proceso se desarrolla en presencia de levaduras que tienen el potencial de transformar los azúcares en alcohol etílico y dióxido de carbono. La levadura de común utilización para este tipo de procesos es la *Saccharomyces cerevisiae*, la misma que también se usa en la industria de la panificación desde hace más de 2 600 años antes de Cristo. Existen un reducido grupo de microorganismos que pueden realizar este tipo de procesos, entre estos microorganismos se destacan la *Zymomonas mobilis* la cual ha demostrado rendimiento y productividad elevados. (Guigou, 2011).

La reacción de fermentación alcohólica viene representada por la siguiente fórmula:



2.1.4. Microorganismos usados en la fermentación

Para el proceso de la fermentación se usan comúnmente microorganismo tales como las levaduras teniendo como producto final el alcohol etílico. Las levaduras poseen una gran productividad en el proceso de conversión de azúcares en etanol separándose al final del proceso. Las levaduras presentan bondades en el proceso de fermentación tales como la baja producción de toxinas frente a otros microorganismos. Las levaduras que más se usan en el proceso de fermentación se enumeran a continuación: *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus*, *Candia bytyrii*, *Pichia stipatis*, entreo otros. (Zambrano, 2013).

Saccharomyces cerevisiae

Esta levadura tiene el potencial de producir alcohol etílico a partir de hexosas en ausencia de oxígeno, la reacción química llevada a cabo consiste en la producción de dos moles de etanol y dos de adenosín trifosfato (ATP) por cada mol de hexosa que participa en la reacción.

Asimismo, en la reacción existe la formación de dióxido de carbono en condiciones anaerobias lo cual existe cierta dependencia en la concentración de oxígeno en el sustrato y la fuente de carbono pudiéndose favorecer el desarrollo de una de las reacciones. Otra bondad de las levaduras es la capacidad de poder soportar altas concentraciones de alcohol etílico durante el proceso de conversión de azúcares en alcohol.(Sánchez & Cardona, 2005).

2.1.5. Destilación

Es un proceso que consiste en la separación de dos o más componentes de una solución; la técnica consiste en distribuir las sustancias entre dos fases una líquida y otra gaseosa y es aplicado cuando los componentes se encuentran en las dos fases. La diferencia con los procesos de absorción o desorción de gases es que no es necesario introducir una nueva sustancia en la solución; sino que la nueva fase se originada a partir de la solución inicial por los fenómenos de evaporación y condensación. (Treybal, 1988).

El producto final: Alcohol Etilico o Etanol

Esta sustancia comúnmente conocida con el nombre de etanol, es una sustancia que se encuentra en estado líquido e incoloro teniendo un

punto de ebullición de 78°C, es inflamable. El etanol es soluble con el agua dando una solución azeotrópica cuando se mezcla en diferentes proporciones. La fórmula molecular del etanol es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$. Esta sustancia es un componente esencial en la industria de elaboración de bebidas alcohólicas. La obtención del etanol viene dada por dos procesos que son la fermentación y la destilación. Mediante la fermentación se efectúa la conversión de azúcares presentes en frutas a una solución alcohólica y mediante la destilación se efectúa la depuración de la solución alcohólica obtenida como producto en la fermentación. (Zambrano, 2013).

El alcohol etílico presenta usos en diversas industrias en la producción y síntesis de otros insumos químicos tales como el éter etílico, cloroetano o acetaldehído. La diversidad de usos del etanol varía desde su uso como anticongelante, en la industria alimentaria se usa como aditivo, se usa en la industria de revestimiento de superficies y en la industria de combustibles es usado como aditivo en la gasolina. El etanol tiene gran importancia en la síntesis del butadieno ya que a partir de este proceso es posible obtener líneas de producción de caucho sintético. El etanol también es usado como un disolvente en la industria química, y gracias a esta propiedad se usa en la fabricación de productos

farmacéuticos, lacas, plásticos, barniz, plastificante, cosméticos, entre otros.(Zambrano, 2013).

2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- LA PAPA

Este tubérculo es originario de los andes, de las regiones de Perú y Bolivia, es producto del cruce de las especies *Solanum stenotomum* y *Solanum sparpilum* y de la subespecie denominada *Solanum tuberosum* subsp. andigena. La especie *Solanum tuberosum* es la que ha desarrollado una gran gama de variedades propagadas por el mundo, las mismas que se encuentran en colecciones y en campos de cultivo en las diferentes regiones del mundo. La especie *Solanum Tuberosum* es la especie que alcanzó gran importancia alimenticia en el mundo ya que es el alimento ubicado en el cuarto lugar de los alimentos de mayor importancia mundial. Según estudios realizados por la comunidad científica europea y americana sostienen que la especie que arribó a Europa fue la especie *Solanum tuberosum* subsp. andigena la cual estuvo adaptada a días cortos y que fue adaptándose a las nuevas condiciones de viejo mundo. Existen diversas especies que aún persisten en los andes de los países de Bolivia y Perú como son: *S. chaucha*, *S. curtilobum* y *S. juzepczukii*, *Shiri*, *S. ajanhuiri*, *S. phureja*, entre otros.(MINAG, 2003).

- EL ALMIDÓN

Es un polímero que presenta un sinnúmero de usos siendo los más usados el de dar consistencia y textura en la industria alimenticia, el almidón es usado en la industria de la producción de papel, en la fábrica de adhesivos y también en la elaboración de materiales biodegradables. Este polímero se considera como el compuesto encargado del almacenaje de la energía en las plantas y es el responsable de hasta el 80 % de las calorías ingeridas por la humanidad. El almidón se encuentra en una diversidad de plantas; pero principalmente en cuatro productos como son los cereales, tubérculos, leguminosas y frutas. La concentración del almidón como fuente de reserva energética en las plantas está en función del grado de madurez del fruto. El uso del almidón en la industria viene definido por sus características tales la gelatinización, retrogradación, solubilidad, absorción, entre otros, los mismos que convierten a este polímero en un insumo para la elaboración de una serie de productos industriales.

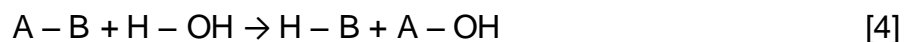
Desde el punto de vista químico, este polímero se define como un polisacárido que está conformado por una cadena de dos compuestos los cuales son la amilosa y amilopectina los mismos que representan hasta un 25 % de secuencias de glucosa configurada linealmente y hasta un

75% de glucosa ramificada que corresponden a la amilosa y amilopectina respectivamente. (Rios & Zelada, 2017).

- HIDRÓLISIS

Owen R. Fennema y Steven R. Tannenbau (2000) definen el fenómeno de la hidrólisis como una reacción química por medio del cual se efectúa la descomposición de un compuesto con ayuda de agua. La hidrólisis también se refiere al proceso en el cual se adiciona ácido al agua en diferentes proporciones a fin de aumentar la velocidad de una reacción química. La hidrólisis es posible llevar a cabo mediante la adición de ácidos inorgánicos o también con enzimas, siendo esta última la más utilizada en la industria.

La ecuación química de la hidrólisis en una reacción viene representada de la siguiente manera:



Entonces la hidrólisis puede ser ácida o enzimática, de cualquiera de estos métodos se obtienen azúcares aptos para el proceso de fermentación a partir de polímeros como el almidón.

- MONOSACÁRIDOS

Son compuestos que presentan solubilidad en el agua e insolubilidad en el alcohol etílico y éter. Generalmente son dulces; sin embargo, existen algunos de sabor amargo presentándose en forma cristalina con una coloración blanca. Los monosacáridos libres son en número menor a los que se encuentran enlazados con otros polisacáridos. Los monosacáridos en su mayoría son cristalizables; sin embargo, existen cierto grupo que no es posible cristalizar dado que no se ha encontrado aún los cristales para iniciar el proceso de la cristalización. (Badui, 2006).

- GLUCÓSIDOS

Los glucósidos son compuestos resultantes de la unión de un azúcar por medio de su cargo anomérico reductor a un grupo alcohólico u otro compuesto químico que no necesariamente debe ser un azúcar. Se denomina enlace glucosídico cuando el radical alcohólico pertenece a un monosacárido dan como resultado oligosacáridos que se encuentran unidos mediante el oxígeno, los mismos que reciben el nombre de O-glucósidos. (Badui, 2006).

- OLIGOSACÁRIDOS

Los oligosacáridos son compuestos productos de la condensación de 2 y 10 unidades de monosacáridos unidos mediante enlace glicosídico. Los oligosacáridos son moléculas que están presentes en la naturaleza variando en características tales como tipo de ramificaciones y número de unidades que componen el oligosacárido. Estos compuestos están presentes en las parte exterior de la célula y se encuentran enlazados a otras moléculas como lípidos y proteínas.(Villada, 2010).

- AZÚCAR INVERTIDO.

El azúcar invertido consiste en una mezcla de glúcidos producto de la hidrólisis química o enzimática de la sacarosa. La denominación “invertido” está referido a la transformación de la propiedad óptica rotatoria que ocurre durante la hidrólisis, esto se explica de la siguiente manera: la sacarosa tiene propiedad dextrorrotatoria y luego de la hidrólisis se obtienen productos como la glucosa y fructuosa los cuales tienen como propiedad la de ser levorrotatorios debido a la fuerte influencia de la fructuosa. Este cambio en sus propiedades ópticas, le da el nombre de azúcar invertido. El proceso de inversión se puede llevar a cabo por medio de uso de enzimas, como las invertasas, así como también puede llevarse a cabo por medio de técnicas y tratamientos

químicos que consisten en el rompimiento del enlace acetal, dando como resultado la adición de una molécula de hidrógeno del agua a la fructuosa y una molécula de oxígeno a la glucosa. (Badui, 2006).

- MALTOSA.

Puede ser obtenida por hidrólisis del almidón, es un ejemplo típico de disacárido. La unidad de la derecha (tal como habitualmente se escribe) posee un grupo aldehído potencialmente libre; por tanto, constituye el grupo reductor y se encuentra en equilibrio con las formas cíclicas de seis átomos de carbono alfa y beta. Puesto que el 0-4 está bloqueado por la unión con la segunda unidad D-glucopiranosilo, no puede formarse un anillo furanósico. La maltosa es un azúcar reductor porque su grupo aldehído está libre para reaccionar con oxidantes y, de hecho, sufre la mayoría de las reacciones que sufriría si fuera una aldosa libre. La maltosa se forma con facilidad por hidrólisis de almidón mediante el enzima α -amilasa. Existe en muy pequeñas cantidades en las plantas, y como resultado de la hidrólisis parcial de almidón. La maltosa se produce durante el malteado de los granos, especialmente la cebada y comercialmente, por hidrólisis de almidón catalizada de manera específica por α -amilasa de bacterias del género *Bacillus*, aunque también pueden

utilizarse α -amilasas de semillas de cebada, de soja y de batatas. (Fennema & Tannenbaum, 2000).

- REACCIÓN DE MAILLARD.

Las reacciones de Maillard consisten en una secuencia de reacciones químicas que tienen como producto sustancias de apariencia parda con olores y sabores característicos diferentes a los productos iniciales. El proceso de las reacciones de Maillard ocurre a temperaturas moderadas y diferentes valores de pH. El origen de estas reacciones puede iniciar en un grupo amino, péptido, carbonilo o en un radical lípido finalizando en melanoidinas. Su importancia en la industria de alimentos radica en que puede presentarse en diversas situaciones como, por ejemplo, durante el almacenamiento, horneado, freído, tostado, entre otros, adquiriendo nuevas características organolépticas agradables; sin embargo, también puede producirse reacciones no deseadas como dando productos con coloración parda y aromas inapropiados. Una desventaja de las reacciones de Maillard es que al llevarse a cabo podrían ocasionar la destrucción de aminoácidos con lo cual disminuye la calidad de los alimentos. (Pastoriza, 2013).

- GELATINIZACIÓN

El almidón, siendo un polímero conformado principalmente por dos polisacáridos, tiene como propiedad la de contar con una estructura sumamente organizada siendo muy estable frente a diferentes condiciones, por lo cual son insolubles en agua a temperaturas bajas; en cambio cuando se someten a temperaturas elevadas experimentan una ruptura de los enlaces puente de hidrógeno de las áreas cristalinas las cuales son más débiles y se ubican en las zonas intermicelares amorfas. Cuando el incremento de temperatura va en aumento, los gránulos de almidón incrementan su volumen y se hinchan; sin embargo, aún no aumentan el valor de la viscosidad. Cuando el área amorfa de este polímero es inundada con agua por completo, la solución aumenta considerablemente su viscosidad, luego la región cristalina comienza un proceso similar requiriendo una demanda mayor de energía. (Badui, 2006).

El volumen máximo alcanzado en este proceso, ocurre alrededor de los 65 °C, en la cual el almidón experimenta la pérdida de su patrón de difracción de rayos X, perdiendo también la birrefringencia. Un continuo aumento de la temperatura ocasiona que los gránulos se fracturen haciendo que los dos polisacáridos que componen este polímero, se

disuelven perdiendo la estructura original y su propiedad y birrefringencia. A estas alturas la viscosidad aumenta considerablemente. Un 30 % de amilosa es esparcido en la solución, siendo este estado, como gelatinización. En resumen, la gelatinización es el paso de un estado de orden hacia otro en desorden en la existe demanda de calor, en este proceso se experimenta la transformación de los gránulos insolubles de almidón en una solución compuesta con moléculas individuales. (Badui, 2006).

- **RETROGRADACIÓN**

La retrogradación es un fenómeno que ocurre en la amilosa y se caracteriza por la baja solubilidad y formación de precipitados. Esto ocurre debido a que la formación lineal de la cadena carbonada de la amilosa se posiciona paralelamente formando enlaces unidos por puentes de hidrógeno registrándose múltiples reacciones gracias a los grupos hidroxilos. Este fenómeno se puede llevar a cabo por varias rutas dependiendo de varios factores como la concentración y la temperatura de trabajo. Cuando una solución de amilosa es sometida a temperaturas elevadas y luego se baja a temperatura ambiente se lleva a cabo la formación una sustancia en forma de gel reversible, esta formación depende de la concentración de amilosa en la solución, ya que cuando se

tiene soluciones concentradas ocurre la formación del gel; pero con concentraciones bajas se registra precipitaciones opacas enfriándose lentamente. Los almidones de diferente procedencia presentan características diferentes de retrogradación que está en función del contenido del polisacárido amilosa. La amilopectina no desarrolla el fenómeno de la retrogradación por sus múltiples ramificaciones que imposibilitan la formación de enlaces puente de hidrógeno; sin embargo, si la solución almidonada registra congelamientos y descongelamientos continuos puede conllevar a un fenómeno de insolubilización. La formación de retrogradación en la amilopectina da como resultado unas zonas cristalinas muy fuertes para cuya ruptura es necesario suministrar grandes cantidades de energía. (Badui, 2006).

- ENZIMAS

Estos compuestos se desempeñan como poderosos catalizadores muy eficaces. Desde el punto de vista químico, las enzimas son proteínas. Cuando las enzimas participan como catalizadores en reacciones químicas, tienen la propiedad de actuar en pequeñas cantidades, pueden recuperarse de forma indefinida, no participan de reacciones desfavorables de energía, no influyen en el equilibrio químico, sino que al contrario los pueden acelerar. Estos compuestos tienen la gran propiedad

de incrementar la velocidad de las reacciones químicas. Las enzimas pueden enlazarse por medio de cadenas polipéptidas, aportando cierta cantidad de aminoácidos para la formación de sitios activos para captar al sustrato y dar lugar a la reacción. Cuando las formas de la enzima y el sustrato no encajan correctamente, el sustrato no puede adherirse a la enzima. (Benavides & Pozo, 2008).

- AMILASAS

Estas enzimas tienen como función de degradar al almidón en un proceso de hidrólisis enzimática, esta enzima puede provenir de fuentes vegetales, animales y microorganismos. En la industria alimenticia, el almidón es uno de los grandes alimentos con capacidad para incrementar la viscosidad y textura. Las amilasas se hacen presentes en tres principales formas las cuales son alfa amilasa, beta amilasa y glucoamilasa proviniendo de diferentes fuentes lo cuales son: hongos, bacterias, céreo y origen pancreático. Las beta amilasas provienen de cereales, soya y camote.(Beltrán & Herreño, 2010).

- AMILOGLUCOSIDASA

Es una enzima de baja especificidad, asimismo su acción en la velocidad de reacción química en la producción de glucosa es lenta. Su

acción catalítica se centra en los enlaces glucosídico alfa 1-4, alfa 1-3 y alfa 1-6. (Ruiz, 2009).

- PULULANASA

Es una enzima que tiene el potencial de hidrolizar el enlace alfa 1-6 del pululano, el cual está constituido por amilopectina y dextrina. La pululanasa es una enzima que para su acción necesita que las cadenas carbonadas de amilopectina enlazadas por enlace alfa 1-6 posea como mínimo dos moléculas contiguas de glucosa con enlace alfa 1-4. (Badui, 2006).

- MALTEO

Cuando los cereales inician el proceso de germinación, ocurre un incremento de la actividad de las enzimas alfa amilasa y beta amilasa. Este fenómeno es aprovechado para producir malta de cebada, que es la etapa más importante en la producción de cerveza. La cebada está conformada por una gran cantidad de beta amilasa ubicada en el endospermo y cuando se da inicio a la germinación, comienza la producción de la giberelina la misma que propicia la síntesis de la alfa amilasa. Una vez presentes ambas enzimas, inicia la degradación del almidón teniendo como productos polisacáridos como dextrinas, glucosas,

maltosas y maltotriosas los mismos que son aprovechados por las levaduras responsables de la fermentación. Las fermentaciones lentas son ocasionadas por proceso de hidrólisis poco eficientes dejando como producto final una bebida alcohólica de bajo grado. La solución a este problema se resuelve adicionando las enzimas alfa amilasa, glucoamilasa o pululanasa a fin de hidrolizar completamente al almidón; ya que se sabe que todos los carbohidratos son susceptibles de ser transformados en alcohol etílico. (Badui, 2006).

- DESTILACIÓN

Es un proceso que consiste en técnicas que dan como resultado la separación de dos sustancias de una solución. La destilación es un proceso que esta función de la dispersión de los componentes en las fases líquido y gaseoso siendo aplicable cuando las sustancias se encuentran presentes en ambas fases. La diferencia entre los procesos de absorción y desorción con la destilación es que en lugar de agregar un componente nuevo para propiciar la segunda fase; en la destilación esta fase es originada a partir de la misma solución. (Treybal, 1988).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente tesis tiene un enfoque cuantitativo debido a que consiste en una serie de procesos secuenciales y probatorios. Asimismo, viene sustentado con una revisión de literatura lo cual le da un sólido respaldo teórico. Las hipótesis de la presente investigación resultan de responder las preguntas con lo cual se determina las variables, luego se determina el diseño experimental de la investigación que es básicamente un plan para poner a prueba las hipótesis, luego se realizan las mediciones de las variables bajo ciertas condiciones, se analizan los resultados con ayuda de la estadística y finalmente se redactan las conclusiones de la investigación. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014).

El diseño experimental usado para el presente trabajo de investigación es Factorial Multinivel. Teniendo como factores a las variables Tiempo de Hidrólisis, Cantidad de Enzima y Volumen de agua cada uno con 3, 3 y 2 niveles respectivamente. El experimento consta de 2 repeticiones.

3.2. POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO

Hernández Sampieri (2014) define a la muestra como un parte de una población, en otros términos, también se podría decir que es un grupo de elementos perteneciente a otro grupo de mayor tamaño que posee ciertas características al cual se le denomina población.

En el presente estudio, y según consulta realizada a la bibliografía anteriormente referida, se ha determinado que el tipo de muestra corresponde a “muestra no probabilística” por lo cual no es necesario determinar el tamaño de población y muestra. Por cada unidad experimental se ha utilizado 50 g de almidón obtenido a partir de 740 g de papa variedad UNICA.

La papa variedad UNICA fue adquirida del principal mercado de abastos de la ciudad de Tacna, las pruebas de laboratorio se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio de fisicoquímica de la Facultad de Ciencias-UNJBG.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 6
Operacionalización de Variables

VARIABLE	TIPO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES
Tiempo de hidrólisis enzimática	Independiente	Tiempo que se mide una vez añadida la enzima hasta el fin del proceso de hidrólisis previo a la fermentación.	Tiempo expresado en horas cronológicas.
Cantidad de agua utilizada en la hidrólisis enzimática	Independiente	Cantidad de agua destilada añadida al almidón en polvo previo al proceso de gelatinización.	Mililitros de agua destilada.
Cantidad de enzimas utilizado en el proceso	Independiente	Cantidad de enzima diastasa de maíz usado en el proceso de hidrólisis enzimática.	Gramos de diastasa de maíz.
Rendimiento del proceso	Dependiente	Rendimiento (% V/P) obtenido al final del proceso. Volumen de alcohol anhidro/masa de materia prima.	% Rendimiento.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

El tipo de diseño experimental escogido para este trabajo es un diseño factorial multinivel. La elección de este diseño se debe a que en el presente trabajo se busca estudiar el efecto de las variables independientes (Tiempo de hidrólisis enzimática, cantidad de agua y cantidad de enzima) sobre la variable de salida (Volumen de alcohol etílico) y, asimismo, determinar qué combinación de niveles de factores es el mejor. Una de las bondades de trabajar con este arreglo es la de poder experimentar el total de las combinaciones de cada nivel de los factores, permitiendo apreciar el efecto de cada una sobre la variable de salida.

Determinación de rangos de trabajo

Los rangos de trabajo se determinaron con ayuda de la bibliografía citada y pruebas preliminares realizadas.

Para iniciar con el experimento, se trabajó con la bibliografía consultada en la parte teórica con el objeto de poder delimitar los rangos de trabajo para las variables independientes. Como resultado de la consulta realizada se resumen dichos parámetros en el siguiente cuadro.

Tabla 7*Delimitación de rangos de trabajo*

Autor	Título de la investigación	Tiempo (h)	Variable		Cantidad de Enzima (g)
			Cantidad de agua (ml)		
			Relación	Cociente	
Zambrano Bedón, Guisela del Rocío	Estudio técnico-económico para la obtención de alcohol a partir del camote (Ipomoea Batata).	12	400 ml agua/100 g almidón	4,00	1,5 % del peso de almidón
Usucachi López, Pablo Antonio	Proceso de obtención de Bioetanol a partir de papa peruana.	3,5	800 ml/160 g almidón	5,00	5 % peso del almidón
Guigou, Marian	Producción de Bioetanol combustible a partir de Boniato.	12-16	500 ml/132 g almidón	3,79	150 µg/g almidón
Jadán Piedra, Felipe Arturo	Obtención del Bioalcohol a partir del extracto del camote.	2,5	6 L/1 Kg camote	6,00	1 % de camote

Se tomó como base referencial los valores de los parámetros usados en investigaciones realizadas con anterioridad a fin de tener como referencia para el inicio de la investigación, para lo cual se construyó el siguiente cuadro resumen:

Tabla 8*Fijación de rangos de trabajo*

Rangos preliminares de trabajo			
Variable	Unidad de medida	Límite mínimo	Límite máximo
Tiempo de hidrólisis enzimática	Horas	2,50	12
Cantidad de agua (para 50 g. de almidón)	Mililitros	200	300
Cantidad de enzima	Gramos	2	5

Variable: Tiempo de hidrólisis enzimática. Se establece el rango de trabajo de 3 a 4 horas dado que se ha observado que el proceso se adapta a menos tiempo del límite máximo, lo cual se debe a la diferencia de materia prima que se utilizó en cada uno de los experimentos.

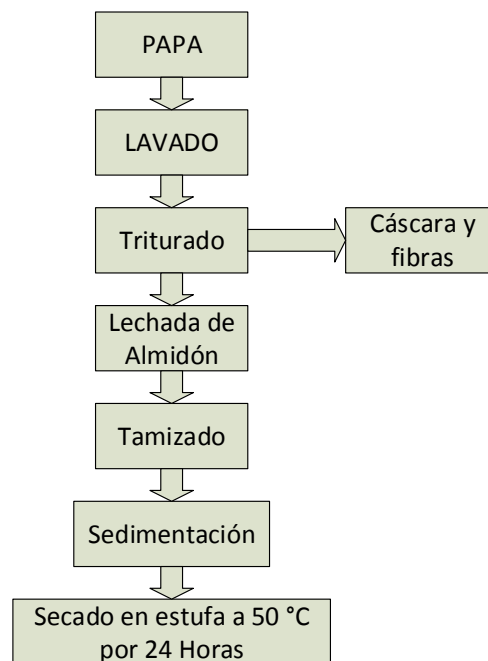
Variable: Cantidad de agua. Se fija el rango de trabajo entre 500 ml a 650 ml de agua dado que los rangos preliminares no han arrojado resultados favorables observándose un fenómeno marcado de espesamiento desencadenándose en quemado en la base del vaso de precipitado.

Variable: Cantidad de enzima. Se ha fijado entre 5 a 10 gramos de enzima diastasa de maíz. Estos rangos son totalmente diferentes a los preliminares; sin embargo, se justifican dado que las enzimas utilizadas en esta investigación son de origen natural en comparación de la investigación llevadas por otros autores en las cuales se usan enzimas

purificadas y con mayor concentración, por lo cual se usan en cantidades menores.

Técnica para obtener almidón de la papa

Para obtener el almidón de la papa se siguió el método empleado por el Ing. Usucachi López, Pablo Antonio en su investigación llevada a cabo en 2011 en Universidad Nacional de Ingeniería (Lima-Perú).



Instrumentos y equipos utilizados

Los instrumentos y equipos utilizados para llevar a cabo la presente investigación son las siguientes:

En la etapa de toma de extracción de almidón:

- 01 licuadora industrial de 1HP de acero inoxidable.
- 01 bandeja de acero inoxidable para secado a sol.
- 01 estufa.
- 01 mortero de laboratorio

En la hidrólisis enzimática.

- 01 balanza analítica.
- 01 bagueta.
- 01 vaso precipitado de 1000 ml.
- 01 termómetro.
- 01 hornilla eléctrica.
- 01 rejilla de asbesto.
- 01 probeta de 500 ml.
- 01 cronómetro.

En la fermentación.

- 01 matraz Kitasato de 1000 ml equipado con trampa de aire.
- 01 vaso precipitado de 100 ml.
- 01 mangueras adaptables a matraz Kitasato para trampa de aire.
- 01 tapón sintético para matraz Kitasato.
- 01 refractómetro en escala brix.

En la destilación:

- 01 equipo convencional de destilación de laboratorio conformado por balón de destilación y serpentín de refrigeración.
- 02 soporte universal.
- 01 termómetro de 0 – 100 °C.
- 01 vaso precipitado de 10 ml.
- 01 cocina eléctrica.
- 01 rejilla de asbesto.

- 01 embudo de vidrio.

Obtención de diastasa de maíz y harina de trigo.

- 01 recipiente de 01 galón.
- 01 pedazo de tela de 0,25 cm x 0,25 cm.
- 01 bandeja para secado al sol.
- 01 molino manual.

Obtención del producto final y determinación de la graduación alcohólica.

El producto final, etanol, se obtiene en la etapa final del proceso, mediante equipo de laboratorio de destilación. Para la determinación del grado alcohólico del producto final, se utilizó las técnicas usadas en la producción de Pisco. Se trabajó con un densímetro volumétrico Gay Lussac marca Boeco, modelo ZL-1021 con rango de medición de graduación alcohólica de 0 a 100 %.



Figura 8: Alcoholímetro ZL-1021.
Fuente: AgroMarket.pe, 2020.

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS (ANÁLISIS ESTADÍSTICO)

Para procesar los datos obtenidos en la presente investigación se usó el software estadístico STATGRAPHICS® Centurión XVII (versión demo) a fin de efectuar los análisis estadísticos de la investigación.

El diseño experimental escogido en dicho software es factorial multinivel teniendo 03 factores experimentales y 01 variable de respuesta. El factor A: Tiempo de Hidrólisis posee 03 niveles, El factor B: Cantidad de Agua posee 02 niveles y por último el factor C: Cantidad de Enzima posee 03 niveles. Las corridas se realizan por duplicado.

El modelo empírico para la presente investigación es la siguiente:

$$Y_{i,j,k,l} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad [5]$$

Donde:

$l=1,2,3,4,5,\dots,a$

$j=1,2,3,4,5,\dots,b$

$k=1,2,3,4,5,\dots,c$

$l=1,2,3,4,5,\dots,n$

μ = Media general

α_i = Efecto del nivel i correspondiente al factor A,

β_j = Efecto del nivel j correspondiente al factor B,

γ_k = Efecto del nivel k correspondiente al factor C,

$(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$ y $(\beta\gamma)_{jk}$ = Representan los efectos de interacción doble en los niveles ij , ik , jk ,

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = interacción triple en la combinación o punto ijk .

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.1. Análisis estadístico

Los datos resultantes de la investigación se exponen en la siguiente tabla los cuales siguen un arreglo factorial de tres variables en la entrada y una en la salida.

Tabla 9
Alcohol producido en ml

	Cantidad de agua					
	500 ml			650 ml		
	Cantidad de enzima (diastasa de maíz) (g)			Cantidad de enzima (diastasa de maíz) (g)		
Tiempo de hidrólisis enzimática (horas)	5	7,5	10	5	7,5	10
3	60	57	61	50	42	51
	62	63	62	45	50	53
3,5	75	82	76	60	65	67
	80	79	80	61	63	62
4	100	95	102	80	80	79
	98	101	98	75	80	82

A fin de acondicionar los datos a programa estadístico se ha realizado el siguiente arreglo:

Tabla 10*Arreglo de datos para procesamiento en programa estadístico*

Experimento N°	Tiempo (h)	Agua (ml)	Enzima (g)	Vol. Alcohol (ml)	Rendimiento (%)
1	3	500	5	60	3,89
2	3,5	500	5	75	4,86
3	4	500	5	100	6,49
4	3	650	5	50	3,24
5	3,5	650	5	60	3,89
6	4	650	5	80	5,19
7	3	500	7,5	57	3,7
8	3,5	500	7,5	82	5,32
9	4	500	7,5	101	6,55
10	3	650	7,5	42	2,72
11	3,5	650	7,5	65	4,22
12	4	650	7,5	80	5,19
13	3	500	10	62	4,02
14	3,5	500	10	76	4,93
15	4	500	10	102	6,62
16	3	650	10	51	3,31
17	3,5	650	10	67	4,35
18	4	650	10	79	5,12
19	3	500	5	62	4,02
20	3,5	500	5	80	5,19
21	4	500	5	98	6,36
22	3	650	5	45	2,92
23	3,5	650	5	61	3,96
24	4	650	5	75	4,86
25	3	500	7,5	63	4,09
26	3,5	500	7,5	79	5,12
27	4	500	7,5	95	6,16
28	3	650	7,5	50	3,24
29	3,5	650	7,5	63	4,09
30	4	650	7,5	80	5,19
31	3	500	10	61	3,96
32	3,5	500	10	80	5,19
33	4	500	10	98	6,36
34	3	650	10	53	3,44
35	3,5	650	10	62	4,02
36	4	650	10	82	5,32

A. Atributos de diseño experimental

Clase de diseño	: Factorial Multinivel
N° de factores	: 3
N° de bloques	: 2
N° de respuestas	: 1
N° de corridas	: 36
Grados de libertad (error)	: 26

Tabla 11

Variables del diseño

Factores y variables	Bajo	Alto	Niveles	Unidades
Tiempo de hidrólisis enzimática	3	4	3	horas
Cantidad de agua	500	650	2	Mililitros
Cantidad de enzima	5	10	3	gramos
Rendimiento	---	---	---	%

B. Análisis de varianza

El análisis de varianza (ANOVA) se efectúa con ayuda de un programa estadístico, el cual es en este caso, STATGRAPHICS® Centurión XVII (versión demo).

Tabla 12*Análisis de varianza para el rendimiento*

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tiempo de hidrólisis enzimática	30,0608	1	30,0608	957,07	0,0000
B: Cantidad de agua	9,56871	1	9,56871	304,65	0,0000
C: Cantidad de enzima	0,130537	1	0,130537	4,16	0,0518
AA	0,0392	1	0,0392	1,25	0,2741
AB	0,340817	1	0,340817	10,85	0,0029
AC	0,001225	1	0,001225	0,04	0,8450
BC	0,0630375	1	0,0630375	2,01	0,1684
CC	0,0015125	1	0,0015125	0,05	0,8280
blocks	0,0004	1	0,0004	0,01	0,9110
Total, error	0,816643	26	0,0314093		
Total (corr.)	41,0229	35			

En la presente tabla ANOVA se descompone la variabilidad de la variable de salida (rendimiento) en partes separadas para los efectos de cada uno de los factores. En tal sentido, se pone a prueba la significancia estadística de los efectos comparando su correspondiente cuadrado medio versus la estimación del error experimental. Para la presente investigación, tres efectos tienen un valor-P inferior a 0,05, resultando significativamente diferentes a cero a un nivel de confianza de 95,0 %, estos vendrían a ser los factores A, B y la interacción AB.

Asimismo, se tiene que los valores de R^2 es igual a 98,0093% y R^2 ajustado es de 97.3202%.

C. Efectos estimados para el rendimiento

Tabla 13

Efectos estimados para el rendimiento

Efecto	Estimado	Error estándar	V.I.F.
promedio	4,58583	0,0660485	
A: Tiempo de hidrólisis enzimática	2,23833	0,0723525	1,0
B: Cantidad de agua	-1,03111	0,0590756	1,0
C: Cantidad de enzima	0,1475	0,0723525	1,0
AA	0,14	0,125318	1,0
AB	-0,238333	0,0723525	1,0
AC	-0,0175	0,0886134	1,0
BC	0,1025	0,0723525	1,0
CC	0,0275	0,125318	1,0
block	-0,00666667	0,0590756	1,0

En la presente tabla se da a conocer los resultados de valores estimados de los efectos de cada factor, así como los efectos de las interacciones existentes entre factores. También se exponen los intervalos de confianza del 95 %, asimismo se tiene que el mayor valor del factor de inflación de varianza, representado por sus siglas V.I.F., es igual a la unidad, conociendo que para que un diseño sea ortogonal perfecto, la totalidad de los factores deberían ser igual a la unidad.

D. Mejores valores

En la siguiente tabla se da a conocer los valores de los niveles de los factores combinados maximizando los resultados en la variable de salida sobre la región indicada.

Tabla 14*Resumen estadístico para residuos*

Factor	Unidad	Bajo	Medio	Alto	Mejor Valor
Tiempo de hidrólisis enzimática	Hora	3	3,5	4	4
Cantidad de agua	Mililitro	500		650	500
Cantidad de enzima	Gramos	5	7,5	10	10

4.1.2. Gráficos estadísticos

A. Diagrama de Pareto

La representación de Pareto muestra los efectos de los factores significativos y no significativos, de esta manera se tiene que los factores A: Tiempo de hidrólisis enzimática y B: Cantidad de agua poseen efecto significativo en la variable de salida: Rendimiento. Asimismo, se tiene que la interacción AB, también presenta un efecto significativo en la variable de respuesta.

Por otro lado, también se puede notar que, los efectos significativos de la variable A es directamente proporcional al rendimiento. Y por el contrario el efecto significativo de la variable B es inversamente proporcional al rendimiento. La interacción de AB presenta un efecto inversamente proporcional al rendimiento.

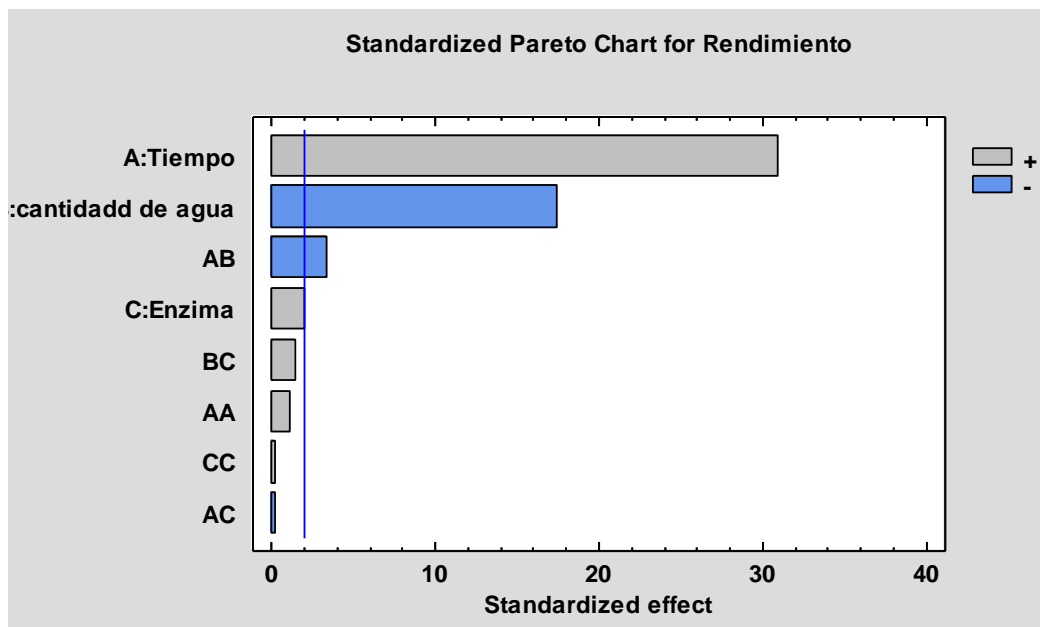


Figura 9: Diagrama de Pareto para Rendimiento.

Fuente: Elaboración propia con software Statgraphics® Centurión XVII (versión demo).

B. Gráfico de efectos principales

En la siguiente gráfica se puede notar los efectos de cada factor sobre la variable de salida, rendimiento. Así se puede interpretar que para el factor A: Tiempo de hidrólisis enzimática, el efecto es directamente proporcional, por lo que se podría afirmar que un mayor tiempo de hidrólisis enzimática conduce a un mejor rendimiento en el proceso. En cuanto al efecto del factor B: Cantidad de Agua, se tiene que el efecto es inversamente proporcional al rendimiento, por lo que, se puede afirmar, que una menor cantidad de agua favorece el rendimiento del proceso. Por último, el efecto de la variable C: Cantidad de Enzima, es directamente

proporcional a la variable de salida, lo que significa que, a una mayor cantidad de enzima, el rendimiento se ve incrementado.

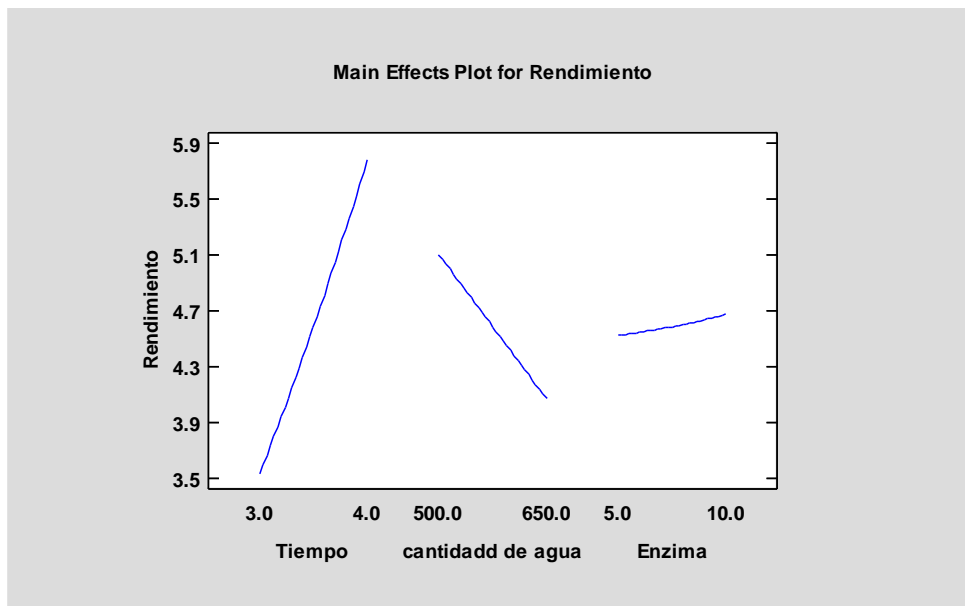


Figura 10: Efectos principales para el rendimiento.

Fuente: Elaboración propia con software Statgraphics® Centurión XVII (versión demo).

C. Gráfico de interacciones

En la siguiente representación se muestra las interacciones de los factores A, B y C para la variable de salida rendimiento.

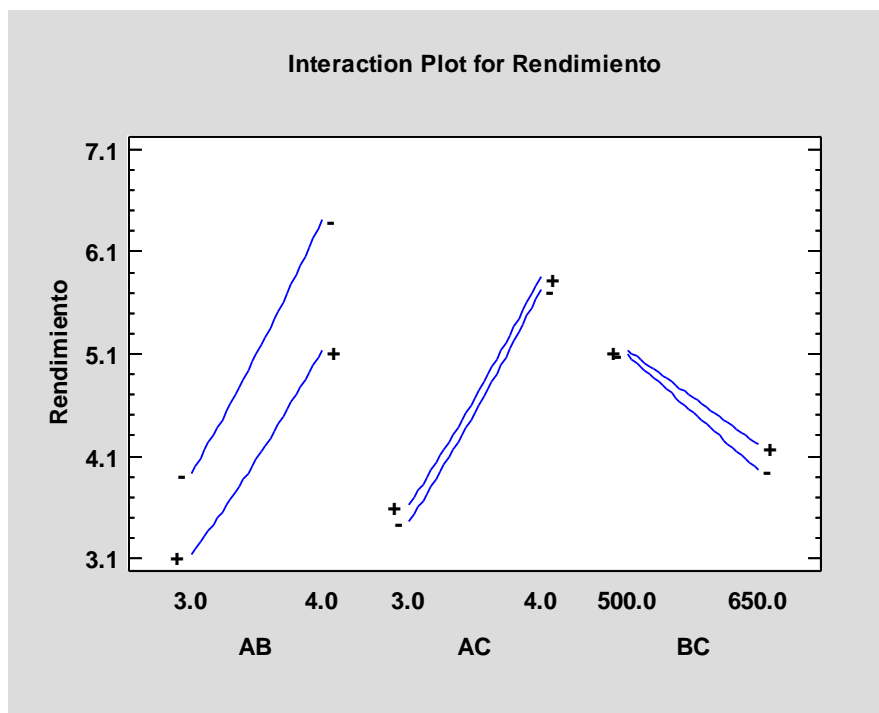


Figura 11: Interacción para el rendimiento.

Fuente: Elaboración propia con software Statgraphics® Centurión XVII (versión demo).

En el gráfico anterior se muestra que en el intervalo o rango de estudio no se aprecia interacción; sin embargo, las pendientes de las curvas predisponen una interacción fuera del rango de estudio del presente experimento.

D. Superficie de respuestas

En la siguiente representación se ilustra la superficie de respuesta con los factores A, B y rendimiento para el nivel 7,5 de cantidad de enzima.

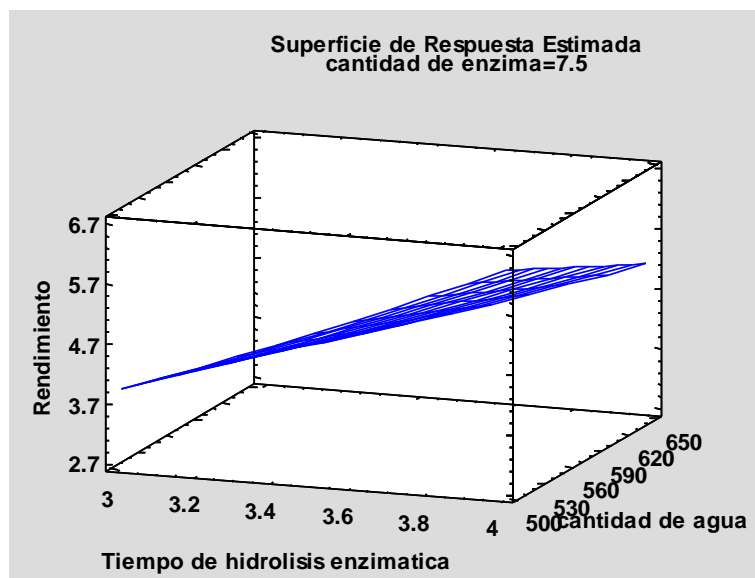


Figura 12: Superficie de respuesta estimada.

Fuente: Elaboración propia con software Statgraphics® Centurión XVII (versión demo).

4.1.1. Balance de masa del proceso

Extracción Almidón

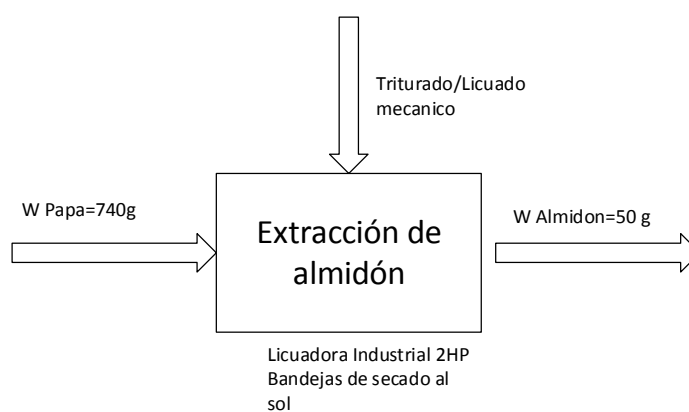


Figura 13: Extracción de almidón de Papa.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Papa variedad UNICA picada.
Fuente: Propia.



Figura 15: Licuadora industrial 2HP.
Fuente: Propia.



Figura 16: Licuado industrial de papa Variedad UNICA.
Fuente: Propia.



Figura 17: Triturado de almidón de papa variedad UNICA.
Fuente: Propia.

Licuefacción

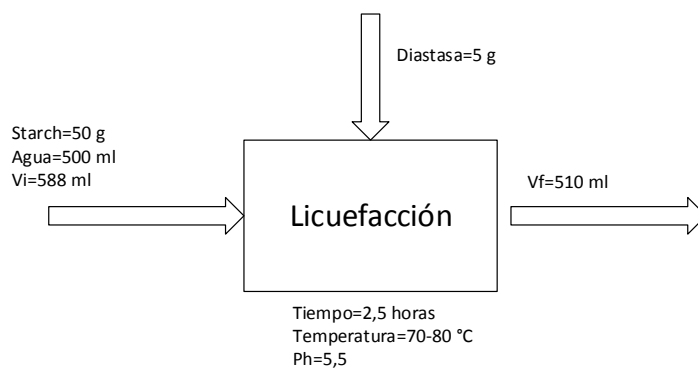


Figura 18: Balance de masa de proceso de licuefacción.
Fuente: Propia.



Figura 19: Inicio de proceso de licuefacción.
Fuente: Propia.



Figura 20: Gelatinización del almidón.
Fuente: Propia.



Figura 21: Diastasa de maíz.
Fuente: Propia.



Figura 22: Licuefacción del almidón.
Fuente: Propia.

Sacarificación

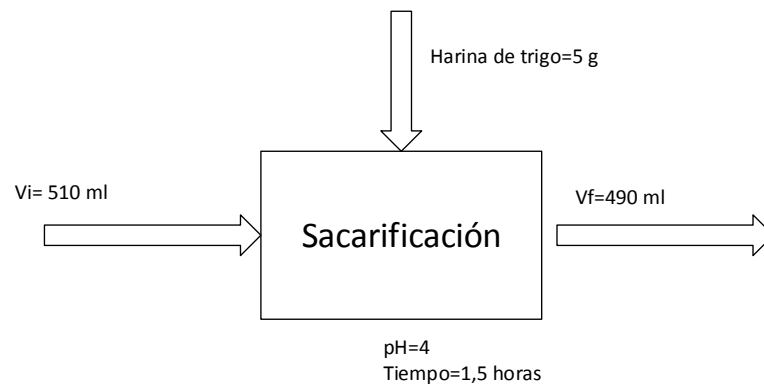


Figura 23: Balance de masa del proceso de sacarificación.
Fuente: Propia.



Figura 24: Sacarificación del almidón.
Fuente: Propia.

Fermentación

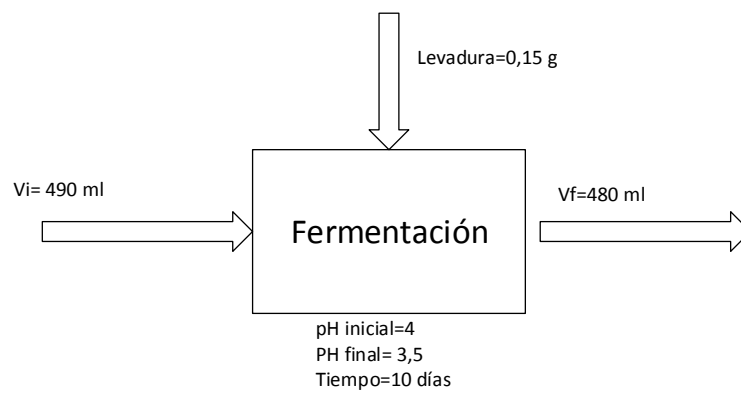


Figura 25: Balance de masa del proceso de fermentación.

Fuente: Propia.



Figura 26: Activación de levadura en solución azucarada tibia.
Fuente: Propia.

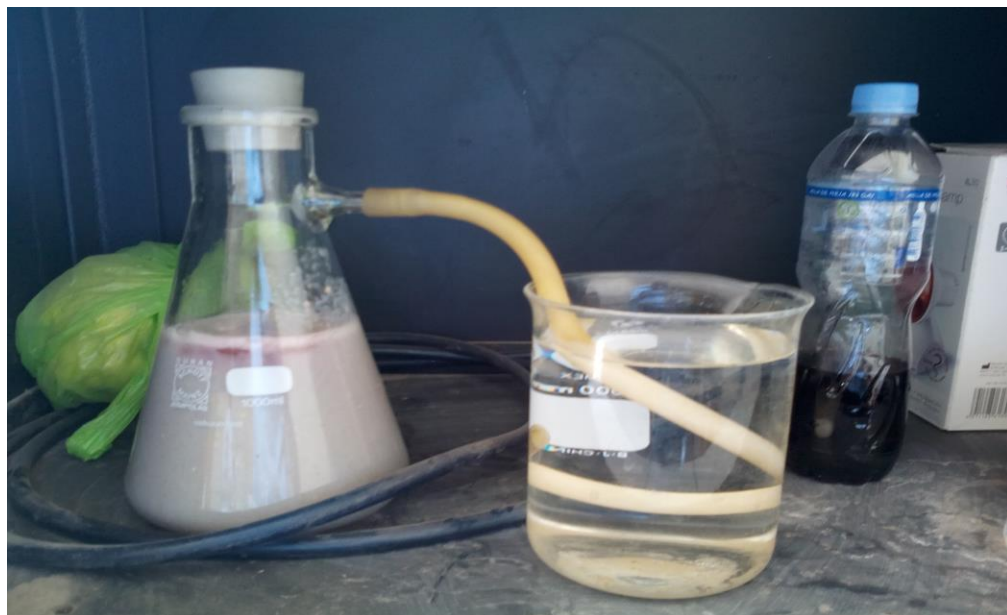


Figura 27: Fermentación del almidón hidrolizado en laboratorio.
Fuente: Propia.

Destilación



Tiempo=2,5 h.

Figura 28: Balance de masa del proceso de destilación.

Fuente: Propia.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

DEL EXPERIMENTO:

- De los resultados del ANOVA presentados en la Tabla 12, se tiene que los factores A (Tiempo de hidrólisis enzimática) y B (Cantidad de agua) y la interacción AB presentan un P-valor inferior a 0,05, por lo tanto, se efectúa el rechazo la hipótesis nula y es posible realizar la afirmación que dichos factores ejercen un efecto estadísticamente significativo sobre la variable de salida. Todo ello con un nivel de confianza de 95 %.

- Se ha determinado en experimentos preliminares que valores menores a 500 ml de agua presenta problemas de espesamiento y elevados valores de viscosidad que impide la licuefacción del almidón truncando el experimento en esta fase. Por otro lado, respecto al tiempo de hidrólisis enzimática se ha podido notar que valores mayores de 4 horas tienden a dar los mismos resultados y ocasionan mayor consumo de recursos energéticos.
- Según la bibliografía consultada, se ha observado que la papa UNICA, con un 7 % almidón apto para el proceso, no es la variedad con mayor concentración de almidón respecto a las otras variedades como por ejemplo las variedades Superchola con 15,02 % de almidón procesable, Capiro con 18,40 %, Gabriela con 12,02 %. (Benavides & Pozo, 2008).
- La temperatura de los procesos de licuefacción y sacarificación se realizaron en el rango de 70 °C – 80° C dado que existe el peligro que al superar este rango de temperaturas las enzimas que favorecen estos procesos se desnaturalizan o destruyen debido que al ser compuesto por componentes orgánicos como las proteínas son sensibles a temperaturas altas disminuyendo

o anulando su actividad en el proceso. La enzima α -amilasa, que participa del proceso de hidrólisis enzimática, presenta desarrollo de su capacidad enzimática óptima en valores de temperatura de 70 °C y pH de 5 a 7. (Espinel & López, 2009).

- Se ha observado en experimentos preliminares que, a una temperatura de 90 °C el proceso de licuefacción no se ha llevado cabo, lo que se traduce en un aumento de viscosidad de la masa a tal punto que pierde sus propiedades de fluido convirtiéndose en una masa sólida y comenzando a quemarse en la base del vaso precipitado. Esto paraliza el experimento no pudiéndose llevar a cabo.
- Los valores del factor volumen de agua para el inicio del proceso de hidrólisis enzimática se han fijado en 500 ml y 650 ml debido a que en experimentos preliminares valores por debajo de 500 ml conllevan a dar mezclas altamente viscosas previo a la licuefacción, estos dificultan la acción de la enzima diastasa encargada de la licuefacción e inicio de la sacarificación.
- Las enzimas utilizadas en el presente proyecto son sustitutas de las enzimas comerciales alfa amilasa y beta amilasa, dado

que dichos insumos no se comercializan en la ciudad de Tacna, por tal razón en lugar de alfa amilasa comercial se utilizó diastasa de maíz (fuente de alfa y beta amilasa) y harina de trigo natural sin procesar (fuente de alfa amilasa y beta amilasa). El uso de esta fuente alterna de enzimas se justifica dado que en eventual reproducción de la investigación a escala industrial dichas insumos son de fácil acceso para cualquier persona o empresa y están al alcance del sector agroindustrial local.

- El tiempo fijado en la fermentación es de 10 días, dicho periodo se ha fijado debido a experimentos preliminares realizados en los cuales se ha observado que es en este punto en cual el burbujeo producido por las levaduras en el mosto se detiene, asimismo, guarda relación con los experimentos realizados por Usucachi (2011) el cual consideró 11 días, pero con papas nativas.

COMPARACIÓN CON OTRAS INVESTIGACIONES

- En la Tabla 15 se dan a conocer los resultados expuestos en el presente informe y su comparación con resultados de otras investigaciones de similares características y condiciones. En la

fila 1 de la tabla se visualizan los resultados del presente trabajo con un rendimiento total del proceso de 6,62 % lo que significa que de cada 100 kg de papa variedad UNICA es posible obtener 6,62 Litros de alcohol puro o anhidro.

- El rendimiento del proceso de la presente investigación es relativamente menor que las otras cuatro investigaciones citadas, principalmente comparadas con las investigaciones de Usucachi (9,37 %) y Cruz (8,00 %), que se asemejan más al presente trabajo de investigación, dado que trabajan con la misma materia prima e insumos. El menor rendimiento registrado gira en torno a los diferentes factores influyentes en el proceso como son: la variedad de la materia prima, la calidad de la enzima utilizada, las levaduras utilizadas en la fermentación, entre otros.
- Los estudios de Guigou y Zambrano, expuestos en la Tabla 15, usan enzimas específicas para el proceso de hidrólisis enzimáticas tales como Termamyl®120L (alfa amilasa), SAN súper 240 L (glucoamilasa), lo cual permite obtener mayores rendimientos del proceso (15,50 %) dado que la eficiencia de las enzimas de marca es mayor que las usadas en la presente

investigación, las cuales son de origen natural y sin industrialización.

Tabla 15*Comparación de resultados con los de otras investigaciones*

Autor	Título de la investigación	Materia prima utilizada	Cantidad de materia prima utilizada (Kilogramos)	Enzima utilizada	Volumen de producción etanol deshidratado (Litros)	Rendimiento	Observación
Ramos ortega, Elmer Jesús	Obtención de alcohol etílico a partir de papa variedad UNICA.	Papa Variedad UNICA	0,74	Diastasa de maíz (alfa amilasa) y trigo molido (beta amilasa).	0,04896	6,62 %	Escala de laboratorio.
Usucachi López, Pablo Antonio	Proceso de obtención de Bioetanol a partir de papa peruana.	Papa Variedad Canchan	0,17	Bacillus Suptilis (generador de alfa amilasa), Trigo (beta amilasa), Rhizopus Sp (generador de Glucoamilasa).	0,01592	9,37 %	Escala de laboratorio.
Cruz Pupuche, Linda Marita Millones Vigil, José Miguel	Proyecto de inversión para la instalación de una planta productora de alcohol de papa en la Provincia de Chota.	Papa	1000	Enzimas comerciales alfa y beta amilasa.	80	8,00 %	Escala industrial.
Guigou, Marian	Producción de Bioetanol combustible a partir de Boniato.	boniato Ipomea batatas K 9807,1	1	α-amilasa, amiloglicosidasa (AMG)	0,155	15,50 %	Escala de laboratorio.
Zambrano Bedón, Guisela del Rocío	Estudio técnico-económico para la obtención de alcohol a partir del camote (Ipomoea Batata).	Camote (Ipomoea Batata)	2 205 900	Termamyl®120L (alfa amilasa), SAN súper 240L (glucoamilasa).	347 038	15,73 %	Escala industrial.

CONCLUSIONES

- El mayor volumen generado de alcohol etílico en el área de exploración es de 102 ml al 48 % V/V obtenido a partir de 740 g de papa variedad UNICA con un rendimiento del proceso del 6,62 % V/P lo que significa que a partir de 740 g de papa variedad UNICA es posible obtener 48,96 ml de etanol anhidro (puro) apto para el uso industrial.
- El mayor volumen de alcohol etílico generado se obtiene en el nivel "4 horas" del factor "tiempo de hidrólisis enzimática", siendo este el valor adecuado en el área de exploración.
- El mayor volumen de alcohol etílico generado se obtiene en el nivel "500 ml" del factor "cantidad de agua utilizada en la hidrólisis enzimática", siendo este el valor adecuado en el área de exploración.
- El mayor volumen de alcohol etílico generado se obtiene en el nivel "10 g" del factor "Cantidad de enzimas utilizado en el proceso", siendo este el valor adecuado en el área de exploración.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda experimentar con otras fuentes de enzimas alfa y beta amilasa como diastasa de trigo, cebada u otros a fin de buscar mejores resultados en el rendimiento del proceso.
- Se recomienda replicar la presente investigación a escala semi o industrial a fin de determinar su viabilidad económica y su rentabilidad.
- Se recomienda explorar en otros cultivos locales que contengan elevados porcentajes de almidón como el maíz y el camote dado que podrían significar una alternativa de negocio para el sector agroindustrial de la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos*. (Pearson, Ed.) (4th ed.).
<https://doi.org/10.1109/APSEC.2012.123>
- Beltrán, A. D., & Herreño, L. A. (2010). *Aplicación de la enzima Alfa - Amilasa Comercial Ban® 480L a la harina de arroz de la variedad Fedearroz 50 para la elaboración de una bebida vegetal*. UNIVERSIDAD DE LA SALLE, BOGOTÁ D.C. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15599/T43.10B419a.pdf?sequence=1>
- Benavides, I. M., & Pozo, M. M. (2008). *Elaboración de una bebida alcohólica destilada (Vodka) a partir de tres variedades de papa (Solanum Tuberosum) utilizando dos tipos de enzimas*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.
- Cruz, L. M., & Millones, J. M. (2014). *Proyecto de inversión para la instalación de una planta productora de alcohol de papa en la Provincia de Chota*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo-Perú. <https://doi.org/10.1192/bjp.205.1.76a>
- Dirección Estadística Agraria. (2016). *Síntesis Agraria de la Región Tacna MAYO - 2016*.
- Espinel, E., & López, E. (2009). *Purificación y caracterización de Alfa-Amilasa de Penicillium Commune producida mediante fermentación en fase sólida*. *Revista Colombiana de Química*, 38, 191–208.
- Fennema, O. R., & Tannenbaum, S. R. (2000). *Introducción a la Química*

de Alimentos.

Guigou, M. (2011). *Producción de Bioetanol combustible a partir de Boniato*. Universidad de la República, Montevideo-Uruguay.

Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2nd ed.). México: MCGRAW - HILL INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A.

Gutiérrez, R. O., Espinoza, J. A., & Bonierbale, M. (2007). UNICA: *Variedad peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas*. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 14(1), 41–50. Retrieved from <http://papaslatinas.org/v14n1p41.pdf>

Hernandez, C. R., Fernandez, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.). México D.F.: MCGRAW - HILL INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A.

Hernández, M. T. (2007). *Tendencias actuales en la producción de Bioetanol*. *Boletín Electrónico N° 08*. Facultad de Ingeniería-Universidad Rafael Landívar, (08), 1–17. [https://doi.org/10.1016/0172-2190\(89\)90123-3](https://doi.org/10.1016/0172-2190(89)90123-3)

Herrera, A. de J., & Meers, R. C. (2013). *Diseño de las etapas de hidrólisis de almidón y fermentación para producir Bioetanol basado en la respuesta dinámica del sistema*. UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD, CARTAGENA DE INDIAS. Retrieved from [http://190.25.234.130:8080/jspui/bitstream/11227/67/1/DISEÑO DE LAS ETAPAS DE HIDRÓLISIS DE ALMIDÓN Y FERMENTACIÓN PARA PRODUCIR BIOETANOL BASADO EN LA.pdf](http://190.25.234.130:8080/jspui/bitstream/11227/67/1/DISEÑO_DE_LAS_ETAPAS_DE_HIDRÓLISIS_DE_ALMIDÓN_Y_FERMENTACIÓN_PARA_PRODUCIR_BIOETANOL_BASADO_EN_LA.pdf)

- Jadán, A. F. (2011). *Obtención del Bioalcohol a partir del extracto del camote*. Centro de Estudios Superiores de la Industria Farmacéutica, Madrid-España.
- MINAG. (2003). *Plan estratégico de la cadena de la papa, 45*. Retrieved from <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/papa/planestrategicopapa.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2013). *Papa principales aspectos agroeconómicos*.
- Pastoriza, S. (2013). *Efecto de la Ingesta de compuestos avanzados de la Reacción de Maillard sobre el metabolismo gastrointestinal*. Universidad de Granada.
- Reyna, L., Robles, R., Reyes, M., Mendoza, Y., & Romero, J. (2004). *Hidrólisis enzimática del almidón*. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím*, 7(1), 40–44.
- Rios, E. P., & Zelada, H. M. (2017). *Determinación del rendimiento de glucosa por hidrólisis enzimática de almidón de yuca (Manihot esculenta), Camote (Ipomoea batatas) y Papa (Solanum tuberosum)*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Ruiz, M. (2009). *Obtención de jarabes de glucosa a partir de almidón de yuca por medio de hidrólisis enzimática, para ser usados como sustrato en la producción de Bioetanol*. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, BUCARAMANGA.
- Sánchez, O. J., & Cardona, C. A. (2005). *Producción biotecnológica de alcohol carburante i: obtención a partir de diferentes materias primas*. *Interciencia*, 30(11), 22–47. <https://doi.org/10.1007/BF01651772>

Treybal, R. E. (1988). *Operaciones de transferencia de masa*. (McGraw-Hill, Ed.) (2nd ed.). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Usucachi, P. A. (2011). *Proceso de obtención de Bioetanol a partir de papa peruana*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

Villada, W. A. (2010). *Determinación experimental de las condiciones de operación para el proceso de hidrólisis enzimática de almidón de yuca nativa de la Región Amazónica en la Ciudad de Leticia*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Zambrano, G. del R. (2013). *Estudio técnico-económico para la obtención de alcohol a partir del camote (Ipomoea Batata)*. Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador.