

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE ALMIDÓN Y GLUCOSA A PARTIR DE LA OCA
(*Oxalis tuberosa*) POR HIDRÓLISIS ÁCIDA Y SU CINÉTICA DE
EXTRACCIÓN**

TESIS

PRESENTADA POR:

LUCERO CARRIÓN FLOREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**OBTENCIÓN DE ALMIDÓN Y GLUCOSA A PARTIR DE LA OCA (*Oxalis
tuberosa*) POR HIDROLISIS ÁCIDA Y SU CINÉTICA DE EXTRACCIÓN**

TESIS PRESENTADA POR:

LUCERO CARRIÓN FLOREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO



APROBADA POR:

PRESIDENTE

:



Dr. Gregorio Palomino Cuela

PRIMER MIEMBRO

:



Dr. Moisés Pérez Capa

SEGUNDO MIEMBRO

:



Ing. Percy Eloy Mamani Luque

DIRECTOR / ASESOR

:



M.SC. Ciro Hernán Vera Alatriza

Área: Procesos Industriales

Tema: Obtención de productos industriales

Línea: Tecnología de alimentos

Fecha de sustentación: 11/05/2018

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi familia, que por ellos soy lo que soy, a mis padres
por siempre estar ahí a mi madre que ha sido un pilar fundamental en mi
formación como profesional, por darme su apoyo incondicional haciendo que
logre mis metas y objetivos propuestos
A mis hermanos por siempre estar ahí
A mis amigos que siempre me apoyaron
A todos ellos dedico mi tesis por todo el apoyo incondicional que me dieron
durante este transcurso que fue escribir la tesis

AGRADECIMIENTOS

Primeramente doy gracias a Dios por permitirme estar ahora aquí con vida, gracias a mi universidad por permitirme convertirme en una profesional, a mis docentes por brindarme su apoyo y aprendizaje durante este tiempo, doy gracias a mi familia a cada uno de ellos desde mis padres y mis hermanos que fueron parte de este proyecto apoyándome en todo, gracias porque creyeron y confiaron en mí, y a mis amigos que siempre me están apoyando, gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que creyeron y me apoyaron en la realización de esta tesis

Finalmente agradezco a quien está leyendo esta tesis permitiendo que mis investigaciones y conocimientos incurran dentro de su repertorio de información.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS.....	8
INDICE DE TABLAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.2. OBJETIVOS	18
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
II. REVISIÓN DE LITERATURA	19
2.1. MARCO TEÓRICO	19
2.1.1. Tubérculos andinos	19
2.1.2. Situación y perspectiva de la producción y consumo	19
2.1.3. Importancia de los cultivos dentro de la economía	21
2.1.4. Características de la oca	22
2.1.5. Los nutrientes y su presencia en los cultivos andinos	26
2.2. ALMIDÓN	27
2.2.1. El gránulo de almidón	27
2.2.2. Fuentes y composición.....	28
2.2.3. Rendimiento.....	31
2.3. PROPIEDADES DE LA PASTA DE ALMIDÓN	32
2.3.1. Viscosidad	32
2.3.2. Solubilidad y poder de hinchamiento	32
2.3.3. Usos del almidón.....	33
2.3.4. Importancia del almidón	35
2.4. GLUCOSA	35
2.5. CONSIDERACIONES CINÉTICAS.....	37
2.5.1. Reacciones heterogéneas	37
2.5.2. Velocidad de reacción en sistemas heterogéneos.....	39
2.5.3. Efecto de la temperatura.....	39
2.5.4. Efecto del área superficial	40
2.5.5. Efecto de la concentración	41
2.5.6. Cinéticas de extracción	41
2.5.7. de Cinética adsorción	43
2.6. MARCO CONCEPTUAL.....	44

2.6.1. Amilopectina	44
2.6.2. Amilosa	45
2.6.3. Diseño experimental	45
2.6.4. Gelatinización	45
2.6.5. Hidratos de carbono.....	46
2.6.6. Solubilidad	46
2.6.7. Poder de hinchamiento	46
2.6.8. Temperatura.....	46
2.6.9. Tubérculo	47
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	48
3.2. MATERIALES.....	48
3.2.1. Materia prima	48
3.2.2. Instrumentos de laboratorio	49
3.2.3. Reactivos	49
3.3. MÉTODO EXPERIMENTAL	50
3.3.1. Obtención del almidón.....	50
3.3.2. Descripción del proceso de obtención del almidón.....	50
3.3.3. % de almidón	52
3.4. MÉTODO DE ANÁLISIS.....	54
3.4.1. Rendimiento.....	54
3.4.2. Composición proximal.....	55
3.5. OBTENCIÓN DE GLUCOSA.....	58
3.5.1. Descripción del proceso de obtención de la glucosa	58
3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS	61
3.6.1. Rendimiento.....	61
3.6.2. Composición proximal.....	61
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE GLUCOSA A PARTIR DE ALMIDÓN.....	62
3.7.1. Influencia de las variables: pH, concentración y temperatura	62
3.8. Estudio cinético en el proceso de obtención de almidón y glucosa	63
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1. OBTENCIÓN DE ALMIDÓN Y GLUCOSA.....	65
4.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN Y GLUCOSA DE LA OCA.....	65
4.2.1. Rendimiento de obtención del almidón en porcentaje (%)	66
4.2.2. Rendimiento de obtención de la glucosa en porcentaje (%) ..	67

4.3. PARAMETROS OPTIMOS UTILIZADOS EN LOS DISENOS EXPERIMENTALES.....	68
4.3.1. Ecuación matemática de la cinética	71
4.4. MODELO MATEMÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN Y GLUCOSA DE LA OCA Y CINETICA DE EXTRACCIÓN	72
4.4.1. Modelos matemáticos del almidón y de la glucosa.....	72
4.4.2. Estudio cinético en el proceso de obtención de almidón y glucosa	73
V. CONCLUSIONES	75
VI. RECOMENDACIONES	76
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	80

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. VARIEDADES DE OCA.....	23
Figura 2. GLUCOSA	35
Figura 3. BETA-D-GLUCOSA.....	36
Figura 4. GLUCOSA – 2 D.....	36
Figura 5. FORMAS CÍCLICAS DE LA GLUCOSA	37
Figura 6. CINÉTICA DE EXTRACCIÓN ACEITE ESENCIAL.....	42
Figura 7. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE OCA	53
Figura 8. COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO	54
Figura 9. ORTOGONALIDAD DEL PROCESO ESTADÍSTICO	56
Figura 10. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCIÓN DE GLUCOSA DEL ALMIDÓN DE OCA	60
Figura 11. CINÉTICA DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN.	73
Figura 12. CINÉTICA DE EXTRACCIÓN DE LA GLUCOSA	74

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. ZONAS AGROECOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE PUNO.....	20
Tabla 2. DATOS DE PRODUCCIÓN SUPERFICIE SEMBRADA.....	22
Tabla 3. DATOS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA	22
Tabla 4. ASPECTOS ECOLÓGICOS Y FITOGEOGRÁFICOS DE LA OCA ...	24
Tabla 5. VALOR NUTRITIVO DE LA OCA	26
Tabla 6. CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS ALMIDONES COMUNES	28
Tabla 7. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LOS ALMIDONES DE LOS TUBÉRCULOS ANDINOS	31
Tabla 8. RENDIMIENTO DE ALMIDÓN DE DIFERENTES RAICES Y TUBÉRCULOS ANDINOS	32
Tabla 9. FUNCIONES DE LOS ALMIDONES EN DIVERSOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS.....	34
Tabla 10. VALORES DE LA RESPUESTA (Y)	52
Tabla 11. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD	55
Tabla 12. VARIABLES NATURALES-DATOS DEL DISEÑO	58
Tabla 13. VALORES DE LA RESPUESTA (Y)	59
Tabla 14. VARIABLES NATURALES-DATOS DEL DISEÑO	62
Tabla 15. ANÁLISIS PROXIMAL DE LA OCA	66
Tabla 16. RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN	66
Tabla 17. RENDIMIENTO DE LA GLUCOSA.....	67
Tabla 18. PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA LA OBTENCIÓN DE AMIDÓN DE LA OCA.....	68
Tabla 19. MATRIZ DE DISEÑO FACTORIAL $2^3 = 8$ PARA EL ALMIDON	69
Tabla 20. PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA LA OBTENCIÓN DE GLUCOSA DEL ALMIDÓN DE LA OCA.....	70
Tabla 21. MATRIZ DE DISEÑO FACTORIAL $2^3 = 8$, PARA LA GLUCOSA...	71

RESUMEN

El presente trabajo de investigación desarrolló la “Obtención de almidón y glucosa a partir de la oca (*Oxalis tuberosa*) por hidrólisis ácida y su cinética de extracción”, con el objetivo de obtener almidón y glucosa a partir de la oca Yurac panti por el método de hidrólisis ácida y, determinar su cinética de extracción. La variedad de oca “Yurac panti”, contiene 73,50 % de humedad, 6,01 % de proteína, 2,53 % de grasa y 1,18 % de fibra. El método utilizado consistió en determinar la materia prima de la clase Yurac panti, seleccionarlo para luego ser rallado, tamizado, hidrolizado con agua destilada, decantado, lavado y secado, obteniendo 40,609 g de almidón. Para la obtención de glucosa se utilizó el método de hidrolisis ácida a partir del almidón obtenido y cuyo resultado fue de 11,44 g de glucosa. Las variables más importantes para esta investigación fueron el pH y temperatura para la obtención de almidón y para la glucosa pH, volumen de agua y temperatura de extracción, utilizando el sistema de diseños experimentales, se determinó el modelo matemático. Se ha obtenido un rendimiento del 25,38 % de almidón como promedio, y glucosa con un rendimiento del 57,20 % como promedio, lo cual nos demuestra la eficacia del proceso, la cinética de extracción ha sido determinada por la teoría de “rendimiento de extracción” demostrada por Bampouli. Las pruebas demuestran que los parámetros óptimos para nuestro diseño experimental para la obtención de almidón fueron, pH de 8,5, volumen de agua 400 mL y 10 °C de temperatura de extracción. Para la obtención de glucosa, los parámetros óptimos fueron, la concentración de almidón 10 g/mL, temperatura de extracción 10 °C y un pH de 10. Se ha encontrado que a un tiempo de 5 min y una concentración inicial de 20 g/L, el valor de k fue de 0,022 para el almidón y $k=0,1169$ para la glucosa con una concentración de 2,5 g/L.

Palabras claves: Almidón, glucosa, oca, hidrólisis ácida

ABSTRACT

The present research work developed the "Obtaining starch and glucose from the oca (*Oxalis tuberosus*) by acid hydrolysis and its extraction kinetics", with the aim of obtaining starch and glucose from the Yurac pant oca by the method of acid hydrolysis and, determine its kinetics of extraction, The variety of goose "Yurac pant", contains 73,50% moisture, 6,01% protein, 2,53% fat and 1,18% fiber. The method used was to determine the raw material of the class Yurac pant, select it to be then grated, sieved, hydrolyzed with distilled water, decanted, washed and dried, obtaining 40,609 g of starch. To obtain glucose, the method of acid hydrolysis was used from the starch obtained and the result was 11,44 g of glucose. The most important variables for this investigation were the pH and temperature for the obtaining of starch and for the glucose pH, volume of water and temperature of extraction, using the system of experimental designs, the mathematical model was determined. A yield of 25,38% of starch has been obtained as an average, and glucose with a yield of 57,20% on average, which shows us the efficiency of the process, the kinetics of extraction has been determined by the theory of "extraction performance" demonstrated by Bampouli. The tests show that the optimum parameters for our experimental design for the obtaining of starch were pH of 8,5 volume of water 400 mL and 10°C of extraction temperature. To obtain glucose, the optimal parameters were the concentration of starch 10 g / mL, extraction temperature 10 ° C and a pH of 10. It has been found that at a time of 5 min and an initial concentration of 20 g / L, the value of k was 0,022 for the starch and $k = 0,1169$ for the glucose with a concentration of 2,5 g / L.

Keywords: Starch, glucose, oca, acid hydrolysis

I. INTRODUCCION

Desde la *costa* del Océano Pacífico hasta la montaña de las regiones trasandinas hay tanta diversidad de temperamentos que no es imposible aclimatar las plantas de todo el mundo. “Apenas hay en el resto del globo una planta que no pueda cultivarse en alguna parte de la Nueva España”: así dice Humboldt, hablando de México, y lo mismo habría afirmado del Perú. A tanto llega lo fecundo de nuestro suelo y lo favorable de nuestra atmósfera, que, en los valles y quebradas de la costa, a pesar del imperfecto y casi primitivo sistema de Agricultura, encuentran pingües beneficios o cuando menos lo suficiente para vivir sin escasez cuantos se consagran a las labores del campo. Exceptuando la caña, la viña y la coca, el cultivo de las plantas industriales no ha progresado desde el tiempo del coloniaje: aquí no se examina la calidad el terreno antes de sembrar, ni se ara profundamente, ni se abona, ni se renuevan las semillas, ni se practica la rotación agrícola. Se ha llegado a talar los olivos y a olvidar el cultivo del más importante de los cereales: el trigo. Amor a las cementeras fáciles, odio a los árboles, es la ley de nuestros agricultores.

La *glucosa* -sustancia llamada así por Dumas a causa de presentar una forma confusa- es un producto azucarado que resulta de la acción de la diastasa o del ácido sulfúrico sobre el almidón aguado y calentado. No es como la dextrina, pues en su composición química difiere de la fécula. La glucosa de origen vegetal se halla en los higos, uvas, etc. en la miel de abejas. La glucosa se aplica a la fabricación de cerveza, cidra, aguardiente, alcohol, vinagre, licores, jarabes, confites, y al mejoramiento de los vinos de calidad inferior.

Imposible parece que representando la fécula un papel tan importante en la industria no exista en el Perú una gran feculería ni se haya exportado el almidón. Y es tan rico nuestro país en productos feculentos. Sin contar la papa, ahí están

la yuca, el camote, la quinua, la achira, la arracacha, el yacón, el olluco, **la oca**, etc.

Las principales fuentes para la obtención de la glucosa son el almidón de maíz, almidón de papa y tubérculos similares tales como el camote, la oca y raíces como la yuca, remolacha, etc. de los cuales puede obtenerse entre un 20% a 35% de almidón, pero rendimientos mayores se obtienen de los cereales como el arroz y el trigo, normalmente entre el 60 al 80%.

El Almidón en la actualidad es un producto de múltiples usos, y cada día sus aplicaciones se incrementan en el mundo asimismo es el primer producto químico estable y perfectamente identificable de la actividad foto sintética de la célula, la misma que contiene pigmentos clorofílicos. Este producto se encuentra en todos los cereales, en los tubérculos (papas, camote, **oca**, olluco, etc.), y en la mayoría de los productos agropecuarios químicamente la molécula fundamental del almidón es la de un poli -alfa -1, 4-glucósido, siendo la estructura de su molécula muy compleja.

El almidón es soluble en agua caliente e insoluble en el etanol. Su utilización es muy amplia pues va desde la repostería hasta la fabricación de medicamentos en forma de tabletas. Es una excelente materia prima y un adecuado insumo en los procesos industriales, debido a su bajo costo, su abundancia en el mercado y la facilidad de su obtención de diversas materias primas.

En los últimos tiempos, la industria del almidón, ha dado lugar a una intensa producción de sus derivados como la glucosa, tartratos, etc. siendo la glucosa un producto de alta demanda sobre todo en la forma de D(+) - glucosa.

Nuestro departamento tiene una apreciable producción de tubérculos, los que deben constituirse en materia prima para la obtención de almidón.

Según estadísticas del Ministerio de Agricultura, en 2004, la producción de papa alcanzó a 255 527 TM y de oca 2 496 TM. Estos volúmenes de producción justifican que la oca pueda ser empleada como materia prima para la producción de almidón y no vendida para el consumo directo a precios que en la mayoría de los casos están por debajo del costo de producción. En estos últimos años, el volumen de la producción de los tubérculos prácticamente no ha sufrido variaciones, como consecuencia de la política agraria e industrial implementada por el actual gobierno.

Uno de los principales objetivos de la presente investigación es la de obtener almidón y glucosa de la oca Yurac panti y determinar el procedimiento experimental, así como sus variables, mas importantes utilizando el sistema de diseños experimentales.

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Surco (2004), Efectuó análisis químico completo a tres tubérculos: Oca (*Oxalis tuberosa*), Olluco (*Ullucus tuberosus*) y Mashua (*tropaeolum tuberosum*) al estado fresco, mediante métodos de la AOAC y la FAO, encontrándose los siguientes valores: Proteína 0,97%, 1,00%, 1,20%; grasa 0,80%, 0,0%, 0,2%; cenizas 0,57%, 0,52%, 0,70%, fibra 0,76%, 0,58%, 0,79 %; carbohidratos 13,16%, 12,58%, 10,95%, respectivamente.

Aisló el almidón de los tres tubérculos siendo el rendimiento de 12,85%, 5,05% y 2,20 % para la oca, olluco y mashua respectivamente; a los que se efectuó análisis químico proximal no encontrándose diferencias significativas entre ellos. En cuanto a las características morfológicas, mediante el empleo de un microscopio Carl Zeiss, se encontró que los gránulos de almidón tenían la forma elíptica, triangular y globular con un tamaño promedio de 30, 15 y 10 micras para la oca, olluco y mashua respectivamente. Con respecto al carácter iónico todos mostraron un comportamiento catiónico similar.

Hermosa (2013). Se obtuvieron almidón de isaño y oca cuyos resultados obtenidos se analizaron mediante el diseño estadístico DCA y los mismos fueron sometidos a temperaturas de 60, 70 y 80 °C para evaluar la solubilidad y el poder de hinchamiento, los resultados del análisis proximal encontrado para el almidón de oca fue (humedad 11,24%, proteína 0,34%, grasa 1,04%, carbohidratos 87,3%) y para el almidón de isaño (humedad 10,79%, proteína 0,54%, grasa 1,91%, carbohidratos 86,68%), el %ceniza de ambos almidones fue 0,07%. La viscosidad, solubilidad y poder de hinchamiento de los geles de almidón aumento a medida que se incrementó la temperatura, el almidón de oca presento un punto máximo de viscosidad 70,40 centipoises (73,15°C), los mejores resultados para

el almidón de oca fue el sometido a 80°C 27,12% y 38,63% para la solubilidad y poder de hinchamiento respectivamente.

Duque (2014), En este trabajo se evaluó la posibilidad de producir glucosa a nivel industrial considerando varias escalas de producción (1, 5 y 26 toneladas mensuales), se consideró la evaluación con base a características fundamentales para entender completamente el proceso y se consignaron en 8 capítulos que consideran: La logística, experimentación y pilotaje, adecuación, transformación, separación, evaluación de la cascara, evaluación económica, impacto ambiental. Se desarrollaron tanto simulaciones como evaluaciones matemáticas de los equipos y requerimientos necesarios para el desarrollo del proceso. Como resultados se encontraron costos de proceso de 2329 pesos por kg, ingresos promedio de mil millones de pesos anuales para una escala de 26 toneladas.

Se alcanzan conversiones promedio de 95% para la producción de glucosa a partir de pulpa de plátano. La concentración de azúcares utilizando una dilución de 208 g/L de pulpa llega a ser de 68 g/L

Guizar (2009), El principal componente de los carbohidratos de ambos tubérculos es el almidón, sus gránulos son de forma redonda a ovalada y su tamaño varía de 8 a 55 μm . El contenido de fosforo en ambos almidones fue similar al que contiene el almidón de papa. El contenido de amilosa en ambos almidones fue superior a 30 %, lo que les confiere a ambos almidones una mayor capacidad de retención de humedad, mayor solubilidad, mayor poder de hinchamiento, y una mayor estabilidad durante ciclos de congelamiento y

descongelamiento, en comparación con otros almidones, especialmente a los procedentes de cereales como el maíz, el trigo y el arroz.

De acuerdo a su composición química, los tubérculos del camote representan un importante complemento nutricional para quienes lo consumen y pueden considerarse como una atractiva nueva fuente para la obtención de almidones, cuyas propiedades físicas y químicas y funcionales resultan ventajosas en comparación a las que presentan los almidones procedentes de cereales. Este camote es rico en grasas, proteínas, minerales tales como el Ca, Mg, Na, K, Fe y Zn, y aportan ácidos grasos como el oleico, linoleico y araquidico.

García (2015), Se elaboró cerveza artesanal a partir de almidón extraído de dos tubérculos andinos, *Oxalis tuberosa* (oca) e *Ipomoea batatas* (camote), con la finalidad de otorgar valor agregado a estos productos andinos. Se inició con la extracción del almidón y el análisis del mismo. El rendimiento de obtención de almidón de la oca fue de 10,74 %, mientras que del camote fue del 6,26 %, las diferencias en la tasa de extracción están determinadas por el contenido intrínseco de almidón en cada especie, el tamaño de tubérculo y el tamaño de los gránulos de almidón; esta última característica parece influir notablemente en el rendimiento, contribuyendo a ello los gránulos de mayor tamaño. La cantidad de almidón y el tamaño del camote son mayores que la oca, pero sus gránulos son de menor tamaño; sin embargo, se obtuvo mayor rendimiento en la extracción de almidón del camote.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener almidón y glucosa a partir de la oca Yurac Panti por el método de hidrólisis ácida y determinar su cinética de extracción

1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar el procedimiento experimental para la obtención de la glucosa y almidón.
- Determinar los parámetros óptimos de pH, volumen y temperatura para la obtención de almidón y para la glucosa pH, concentración de almidón y temperatura de extracción, utilizando el sistema de diseños experimentales.
- Determinar el modelo cinético y matemático para el proceso de obtención del almidón y sacarosa.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Tubérculos andinos

Por causa no establecida, los Andes han sido centro de origen de los cuatros únicos cultivos: la papa, la oca, el olluco, el isaño; todas ellas muy semejantes en su modalidad de producción, solamente la papa ha adquirido importancia mundial, hasta el punto de estar ahora entre los cuatro cultivos más importantes del mundo, por consiguiente, sólo ella ha sido objeto de especial dedicación por parte del mundo científico agronómico. Las otras, en cambio, a pesar de sus cualidades nutritivas y de producción, han quedado relegadas al cultivo empírico (Arbizu y Tapia, 1992).

2.1.2. Situación y perspectiva de la producción y consumo

La región Puno está constituida por diversas zonas agroecológicas Suni, Puna, Janca o cordillera, Rupa Rupa o selva alta y omagua o selva baja donde se producen y cosechan cultivos entre estos el isaño y la oca como se muestra en la tabla 01.

En ningún otro lugar del mundo se han domesticado tubérculos que se usan en la alimentación humana como en los Andes. Los autores proponen una serie de alternativas para conjurar el espectro del hambre, los tubérculos Andinos: isaño (*Tropaeolum tuberosum* R&P) y oca (*Oxalis tuberosa* Mol), como patrimonio del agro alto andino juegan un papel importante en el campo alimentario del poblador rural principalmente.

En los mercados de Perú y Bolivia son abundantes los isaños y las ocas.

El uso alimenticio del isaño y la oca, sería más generalizado si su conservación no fuera tan precaria. Debido a su succulencia y cutícula no severizada, se secan o pudren fácilmente. No hay en los mercados oca ni isaño sino por unos dos o tres meses. (Arbizu y Tapia, 1992).

Tabla 1. ZONAS AGROECOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE PUNO

ZONAS AGROECOLÓGICAS	ALTITUD m.s.n.m	PRECIPIT. PLUVIAL (mm)/Anual	TEMP. °C	PRINCIPALES CULTIVOS	LOCALIDADES
Circunlacustre	3,812 a 3,900	650 - 750	1 a 15	Papa dulce y amarga, quinua, habas, arvejas, tarwi, cereales, hortalizas, oca, olluco, isaño, trigo, gramíneas, forrajeras y pastos cultivados.	Yunguyo, Platería, Taraco, Huancané, Arapa, Orurillo.
Suni (alta y baja)	3 830 a 4 000	600 - 850	1 a 16	Papa amarga, quinua, cañihua, cereales, habas, oca, olluco, isaño, hortalizas, gramíneas forrajeras y pastos cultivados	Juliaca, Illpa, Cabanillas, Asillo, Azángaro, Chuquibambilla, Lampa, Macari, Umachiri, Putina.
Puna (húmeda y seca)	3 900 a 4 800	500 – 1 000	16 a 14	Papa dulce, papa amarga, quinua, cañihua, gramíneas forrajeras y pastos cultivados.	Santa Rosa de Ayaviri, Ñuñoa, La Raya, Santa Rosa de Juli, Paratia, Palca y Santa Lucia.
Selva alta o Rupa Rupa	2 000 a 500	2 500 – 2 000	12 a 35	Naranja, mandarina, toronja, lima dulce, piña, plátano, papaya, arroz, café, coca, caña de azúcar, maíz duro, yuca, papa japonesa, yacon, frijol, zapallo, rocoto, camote, achiote, arracacha, papa dulce.	Sandia, San Juan del Oro, San Gabán, Oroya, Carmen, Lechemayo, Loromayo.
Selva Baja u omagua	Menor a 500	3 000	Mayores a 35	Cultivos tropicales, caña de azúcar.	Nojhonunta

Fuente: Plan de desarrollo regional concertado al 2021.

2.1.3. Importancia de los cultivos dentro de la economía

Los cultivos que producen los campesinos en la sierra se pueden dividir entre cultivos preferenciales y cultivos de producción marginal. El campesino destina su producción en parte para el autoconsumo y en parte para el mercado, y es a partir de su integración con este último que puede diferenciar y priorizar cultivos. Entre aquellos que hemos denominado preferenciales encontramos los que le representan simultáneamente seguridad alimentaria, vía el autoconsumo, y posibilidades de monetización a través de las ventas en el mercado. Son cultivos como papa, cebada, y maíz.

Se puede inferir que los cultivos en estudio no son cultivos principales en la agricultura campesina pero su producción se incrementa con el paso de los años como podemos observar en los cuadros N° 2 y 3, estos cultivos que sustentan el autoconsumo campesino, constituyen su defensa y seguridad frente a las fluctuaciones del mercado (Repo-Carrasco, 1997).

En las tablas 2 y 3 se observa la superficie sembrada y cosechada durante la campaña agrícola 2003 - 2011 en la Región de Puno.

Tabla 2. DATOS DE PRODUCCION SUPERFICIE SEMBRADA

Año	Oca (ha)
2003	4218
2004	4376
2005	4361
2006	4323
2007	4315
2008	4575
2009	4397
2010	4302
2011	4025

Fuente: Compendio Estadístico INEI - PUNO (2011)

Tabla 3. DATOS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Año	Oca (ha)
2006	34790
2007	34917
2008	34627
2009	34089
2010	34031
2011	34726

Fuente: Compendio Estadístico INEI - PUNO (2011)

2.1.4. Características de la oca

La oca o ñame (*Oxalis tuberosa*) es una planta perenne de la familia de las Oxalidáceas que se cultiva en los Andes centrales y meridionales por su tubérculo comestible rico en almidón.

a. Nombres

O'qa, okka (quechua); apiña, Kaki, ibia (aymara).

b. Taxonomía:

- **Reino:** Vegetal
- **División:** Magnoliophyta
- **Clase:** Dicotiledónea
- **Orden:** Geraniales
- **Género:** *Oxalis*
- **Familia:** Oxalidáceas
- **Especie:** *Oxalis Tuberosa* Molina



Figura 1. VARIEDADES DE OCA

c. Distribución geográfica

Es un cultivo importante en las tierras frías altas sobre los 3000 y 3800 msnm de los Andes de Sudamérica (tabla 4), después de la papa es la especie tuberosa más cultivada, se estima que en la región andina del Perú, Ecuador y

Bolivia se cultivan 32 000 ha. Con rendimientos entre 6 a 12 T.M. /ha. (Tapia, 1990).

La oca es un cultivo endémico de los Andes. Su domesticación y la de otros tubérculos andinos en la región central del Perú y el norte de Bolivia donde se encuentra la mayor diversidad, tanto de formas cultivadas como silvestres, habría dado origen junto con la papa a la actividad agrícola en las zonas agroecológicas más altas de los Andes. Su cultivo fue introducido en México hace unos 200 ó 300 años, la introducción de la oca en Europa se hizo en el siglo pasado. La existencia de oca en Nueva Zelanda es conocida desde 1860, y su cultivo parece haber ganado popularidad durante los últimos 20 años (Arbizu y Robles 1986).

Tabla 4. ASPECTOS ECOLÓGICOS Y FITOGEOGRÁFICOS DE LA OCA

Aspectos	oca
Altitud	2000 - -4000 m
Clima	Semi-húmedo
Suelo	Laderas andinas
Conservación	Khaya o okhaya y chuño
Plagas importantes	Crisomélidos y nematodos

Fuente: Espín *et al.*, (1999)

d. Descripción botánica

Es una especie anual, erecta, de 20 a 70 cm, de tallos cilíndricos y suculentos con ligera pubescencia en el tallo. Las hojas son alternas y trifoliadas como las del trébol; la inflorescencia es muy variable, en todos los casos se produce una sola flor.

La oca no produce frutos pues las flores se desprenden poco después de abrirse. Su tiempo de crecimiento es de 220 días para las más precoces y de 269 para las más tardías. La tuberización comienza más o menos a los 110 días después de la germinación y el máximo crecimiento del tubérculo ocurre entre los 170 y 230 días (Tapia y Frías 2007).

Cárdenas (1985) manifiesta “no puede establecerse variedades en el sentido taxonómico, porque los caracteres morfológicos de las plantas que se han visto no lo permiten. Las diferencias más marcadas entre las numerosas colecciones pueden establecerse basadas en el color de los tubérculos y siguiendo este carácter, propondríamos la agrupación de las ocas en tres formas: alba, flava y roseo-violácea”. La forma de los tubérculos varía menos que su pigmentación y tal vez podríamos reducir todas las formas a tres tipos: ovoide, claviforme y cilíndricos. En los tubérculos de tipo ovoide y cilíndrico el extremo del estolón es curvado.

Los tratamientos que se dan al cultivo son bastantes similares que los que se dan a la papa; se siembra asociada con ulluco, mashwa y papa nativa en parcelas de hasta aproximadamente 1000 m².

e. Cultivares en Puno

Según Tapia y Frías (2007) en Puno se tienen los siguientes cultivares.

- Keny blanca
- Keny roja o rosada
- Amarilla (kello)
- Solterito
- Huaricuyo

- Lampaya
- Chiguanco
- Wila
- Yurac Panti

2.1.5. Los nutrientes y su presencia en los cultivos andinos

El valor de los cultivos andinos constituye un complemento muy apreciado en la dieta andina, las investigaciones han generado conocimiento sobre sus principales componentes químicos y de las características físicas, nutricionales y funcionales que se les atribuyen, para orientar sus posibles usos y aplicaciones. Los isaños y ocas son otras de las tantas especies valiosas que nos heredaron nuestros antepasados. Constituyendo la base alimenticia del poblador andino y sustituyen en muchos casos a la papa. Su importancia, valor nutricional y composición química, su valor económico como fuente de ingresos para las familias pobres, resulta de vital importancia para las comunidades preocupadas por conseguir su seguridad alimentaria. Por ello, en la población existe un creciente interés por la conservación de las variedades tradicionales de estos cultivos. Es necesario seguir aunando esfuerzos para la conservación de estos productos que se encuentran en vías de extinción (FAO, 2010).

Tabla 5. VALOR NUTRITIVO DE LA OCA

COMPOSICIÓN (%)	OCA
Proteína	4,60
Grasa	1,66
Cenizas	3,39
Humedad	77,73
Fibra	0,8
Carbohidratos	88,19

Fuente: Espín, Brito (1999)

2.2. ALMIDON

El almidón es un compuesto de almacenamiento que se localiza en raíces, tubérculos, frutas y semillas de las plantas. Es un polisacárido a partir del dióxido de carbono que toman las plantas de la atmósfera y agua que toman del suelo tiene como unidad estructural moléculas de glucosa se presenta en forma de gránulos que habitualmente ofrecen una forma redondeada, irregular, con tamaños que oscilan entre 2μ y 100μ , tanto la forma como el tamaño de los gránulos son característicos de la especie vegetal; formado por una mezcla de dos sustancias amilosa y amilopectina, las que solo difieren en su estructura. Contribuye a la dieta normal de los seres humanos con más calorías que cualquier otra sustancia (Méndez, 2010).

2.2.1. El gránulo de almidón

El almidón está organizado en partículas conocidas como gránulos cuya morfología, composición química y estructura molecular son características de cada especie. Cuando se extraen y se secan los gránulos de almidón tienen la apariencia de polvo blanco.

El gránulo de almidón consiste generalmente en varias capas, colocadas alrededor de una región central llamada núcleo, el gránulo de almidón puede soportar cierto esfuerzo mecánico y es prácticamente insoluble en agua fría (Whistler, 1984) estos están compuestos por dos polímeros (amilosa y amilopectina) los cuales representan, aproximadamente 98-99% del peso seco. (Tester y Debon.2000)

2.2.2. Fuentes y composición

El almidón es un polímero de glucosa parcialmente cristalino y parcialmente amorfo (Perdón *et al.*, 1999). Como hidrato de carbono de reserva, el almidón se encuentra en especial abundancia en determinados tejidos vegetales, como los tubérculos y en el endospermo de las semillas. Sus propiedades funcionales son de importancia en muchos alimentos. El almidón se encuentra en las células vegetales bajo la forma de partículas insolubles o gránulos. El almidón consta de dos tipos de polímeros de la glucosa distintos: la amilosa y la amilopectina los cuales se encuentran en diferentes proporciones (tabla 6).

La amilosa, que es esencialmente un polímero lineal; porque forma cadenas largas lineales donde los monosacáridos se unen a través de enlaces glucosídicos α -D-(1,4) en los gránulos de almidón este polímero está presente en forma cristalina (por lo que solamente se hincha a temperaturas elevadas), debido principalmente al gran número de enlaces hidrogeno existentes entre los grupos hidroxilos.

La amilopectina, que es un polímero muy ramificado por eso es que se diferencia de la amilosa, estas ramificaciones están unidas a la cadena central por enlaces α -D-(1,6).

La proporción relativa de amilosa y amilopectina varía de un almidón a otro. En general, los almidones contienen más amilopectina que amilosa, la mayor parte de los almidones contienen entre 20 y 25% de amilosa, para el isaño y la oca está entre 26 y 29% (Coultrate, 1998).

Tabla 6. CARACTERISTICAS DE ALGUNOS ALMIDONES COMUNES

TIPO	AMILOPECTINA %	AMILOSA %	TAMAÑO (micras)
Maíz	73	23	5 – 25
Maíz amiláceo	20 – 45	55 – 80	5 – 25
Papa	78	22	5 – 100
Arroz	83	17	2 – 55
Yuca	82	18	5 – 35
Maíz céreo	99 – 100	0 – 1	5 – 25
Sorgo	99 – 100	0 – 1	5 – 45
Trigo	76	24	11 – 41
Oca	71	29	20 – 29
Mashua	73	27	5 – 10

Fuente: Baldwin 2001

2.2.2.1. Contenido de humedad

Moorthy (2002) encontró que el contenido en el almidón seco varía de 6 a 16%, dependiendo del proceso usado para el secado del almidón. Altos niveles de humedad pueden permitir daño microbiológico y subsecuentemente deterioro en la calidad. El máximo contenido de humedad permitido para el almacenamiento seguro para la mayoría de países productores de almidón es 13%.

2.2.2.2. Lípidos presentes en lo gránulos de almidón

Los lípidos forman otro importante componente que tiene un fuerte efecto en las propiedades del almidón. Los gránulos de almidón presentan lípidos absorbidos en su superficie, estos son triglicéridos, glicolípidos, fosfolípidos y

ácidos grasos libres que provienen de membranas de amiloplastos y fuentes distintas de almidón (Tester y Debon, 2000).

Los almidones provenientes de tubérculos contienen una menor cantidad de lípidos y sus efectos no son trascendentales por ejemplo el almidón de yuca varía de 0,11 a 0,22% (Moorthy, 2002).

2.2.2.3. Proteínas presentes en el granulo de almidón

Baldwin (2001) menciona que una pequeña cantidad de proteína está estrechamente asociada a los gránulos de almidón provenientes de diferentes fuentes botánicas, generalmente son de dos tipos *a) proteínas almacenadas* (por ejemplo :gliadina y gluteina) las cuales son remanentes adsorbidos por la superficie del almidón después del proceso de extracción *y b) Proteínas asociadas al granulo de almidón (PAGA)* las cuales provienen de distintas fuentes biológicas en razón a las proteínas almacenadas en las plantas .

2.2.2.4. Contenido de fibra cruda

El contenido de fibra cruda en el almidón depende del tamiz usado para remover el material fibroso, variedad y edad de la cosecha especialmente para yuca y camote, donde el contenido de fibra se incrementa con la madurez. Los almidones generalmente contienen 0,1 – 0,15% de fibra cruda (Reyes, 2007).

Tabla 7. ANALISIS QUIMICO PROXIMAL DE LOS ALMIDONES DE LOS TUBÉRCULOS ANDINOS

Determinación	Oca
Humedad (%)	11,08
Proteína (g/100g)	0,3
Grasa (g/100g)	0,0
Fibra (g/100g)	-
Carbohidratos(g/100g)	88,67

Fuente: Surco (2004).

2.2.3. Rendimiento

Betancur-Ancona *et al.*, (2001) afirman que el rendimiento de la extracción del almidón se expresa como el cociente multiplicado por 100 para expresarlo en porcentaje (tabla 8). Asimismo, el rendimiento está en función de la tecnología de extracción utilizada (Hurtado, 1997).

Espín (1999) mencionan que la diferencia de rendimiento está determinada por el tamaño de tubérculo o raíz y el tamaño de los gránulos de almidón esta característica influye notablemente en el rendimiento.

Surco (2004), menciona que al extraer almidón de oca de isaño, oca y olluco entre los tres tubérculos el mayor rendimiento lo obtuvo el almidón de oca con un 12,85% seguido del olluco con 5,05% y el que obtuvo menor rendimiento es el almidón de isaño con un mínimo de 2,20%.

Tabla 8. RENDIMIENTO DE ALMIDON DE DIFERENTES RAICES Y TUBÉRCULOS ANDINOS

Tubérculo/raíz	Rendimiento (%)
Oca	14
Melloco	7,17
Mashua	6,61
Miso	12,23
Zanahoria blanca	16,22
Papa	16,13

Fuente: Espín 1999.

2.3. PROPIEDADES DE LA PASTA DE ALMIDÓN

2.3.1. Viscosidad

Cuando el almidón es calentado en presencia de agua sufre cambios reológicos sustanciales. El calentamiento da como resultado un fluido compuesto de poros, donde se encuentran gránulos hinchados y gelatinizados con amilopectina suspendida en la solución caliente de amilosa (Morris, 1990 mencionado por Raygada 2001).

Los equipos comúnmente usados para registrar los cambios de viscosidad de soluciones o pastas de almidón calentadas son el viscosímetro Scott, el viscosímetro Brookfield y el viscosímetro Brabender (amilografo) el cual es muy utilizado (Lewis, 1993).

2.3.2. Solubilidad y poder de hinchariento

La capacidad de productos alimenticios que contienen almidón para formar pastas o geles está determinada por la capacidad de retención de agua,

el poder de hinchamiento, la solubilidad en agua y la viscosidad, propiedades funcionales que determinan la textura y la calidad de los mismos.

La capacidad de hinchamiento se ve afectada por las fuerzas de enlaces presentes en el interior del gránulo, por lo tanto, gránulos de almidón altamente asociados con una estructura micelar extensa y frecuentemente enlazada generalmente muestran una gran resistencia al hinchamiento. Aunado a esto, la presencia de lípidos puede inhibir el hinchamiento de los gránulos, debido a la formación de complejos insolubles con la fracción de amilosa (Tester y Morrison, 1990).

2.3.3. Usos del almidón

El aumento de las utilizaciones alimentarias de los productos amiláceos es bastante regular se basa en dos factores, como son la progresión de la industria de los platos cocinados y la búsqueda por parte del consumidor de un mejor equilibrio. En las preparaciones alimentarias, los productos amiláceos se utilizan para actuar sobre ciertas características, tales como textura, apariencia, humedad, consistencia y estabilidad durante el almacenamiento.

Tabla 9. FUNCIONES DE LOS ALMIDONES EN DIVERSOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS

Función	Alimento
Anti – adhesión	Rebozados, revestimiento
Ayuda a la fluidez	Pan, gomas
Anti – endurecimiento	Materias grasas, polvo para fermentar Productos de panadería
Encofrado	Confitería
Encapsulado	Aceites esenciales y aromas
Espesante	Salsas, sopas
Confección	Carne, productos para animales domésticos
Gelificante	Confitería
Glaseado	Confitería, pastelería
Ligante	Albóndigas de carne, patatas, extruidos
Refuerzo de espumas	Marshmallows, bebida
Retención de agua	Carnes, productos de panadería
Estabilizante	Bebidas, salsas para ensaladas emulsificantes

Fuente: Linden y Loiret (1994)

Los almidones permiten reemplazar ingredientes más costosos y facilitar la fabricación de diferentes productos ,se les utiliza para espesar o fluidificar, para clarificar o volver opaco, para traer la humedad o repelerla para producir texturas cortas o largas lisas o pulposas , revestimiento blandos o crujientes, los almidones u sus productos derivados se utilizan en fabricaciones tan diversas como las conservas, los productos frescos o ultracongelados, las bebidas, los productos de panadería, los productos deshidratados o extruidos (Linden y Lorient, 1994) tal como lo muestra el cuadro 9.

2.3.4. Importancia del almidón

Los almidones son importantes porque forman parte de nuestra dieta. En una dieta sana, la mayor parte de la energía la conseguimos a partir del almidón y las unidades de glucosa en que se hidroliza.

El almidón es muy utilizado en la industria alimentaria, debido a la diversidad de propiedades funcionales específicas que posee, ningún otro ingrediente proporciona textura a gran variedad de alimentos como el almidón. Como fuente de almidón el banano verde es muy competitivo según estudios realizados; este contiene aproximadamente un 70%, cantidad que es comparable con la que presentan algunos cereales como maíz, arroz (30-80%) y tubérculos (60-90%) (Méndez, 2010).

2.4. GLUCOSA

Glucosa, o **dextrosa**, es una forma de azúcar encontrada en las frutas y en la miel. Es un monosacárido con la misma fórmula empírica que la fructosa pero con diferente estructura. Es una hexosa (6 átomos de carbono).



Figura 2. GLUCOSA

Todas las frutas naturales tienen cierta cantidad de glucosa (a menudo con fructosa), que puede ser extraída y concentrada para hacer un azúcar alternativo. Pero a nivel industrial tanto la glucosa líquida (jarabe de glucosa)

como la dextrosa (glucosa en polvo) se obtienen a partir de la hidrólisis enzimática de almidón de cereales (generalmente trigo o maíz).

Molécula , ($C_6H_{12}O_6$) es una Aldohexosa (Aldehído pentahidroxiado) y un monosacárido. La glucosa es el compuesto orgánico más abundante de la naturaleza. Es la fuente principal de energía de las células, mediante la degradación catabólica, y es el componente principal de polímeros de importancia estructural como la celulosa y de polímeros de almacenamiento energético como el almidón.

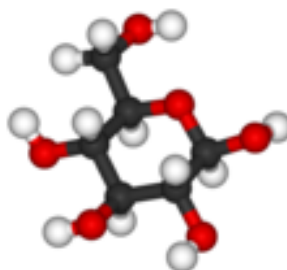


Figura 3. BETA-D-GLUCOSA

En su forma (D-Glucosa) sufre una ciclación hacia su forma hemiacetálica para lograr sus formas furano y pirano (D-glucofuranosa y D-glucopiranososa) que a su vez presentan anómeros Alpha y Beta. Estos anómeros no presentan diferencias de composición estructural, pero si difieren de características físicas y químicas. La D-(+)-glucosa es uno de los compuestos más importantes para los seres vivos, incluyendo a seres humanos.

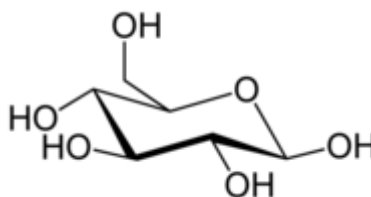


Figura 4. GLUCOSA – 2 D

En su forma β -D-glucopiranososa, una molécula de glucosa se une a otra gracias a los -OH de sus carbonos 1-4 para formar Celobiosa[1-4] a través de un enlace β , y al unirse varias de estas moléculas, formar Celulosa.

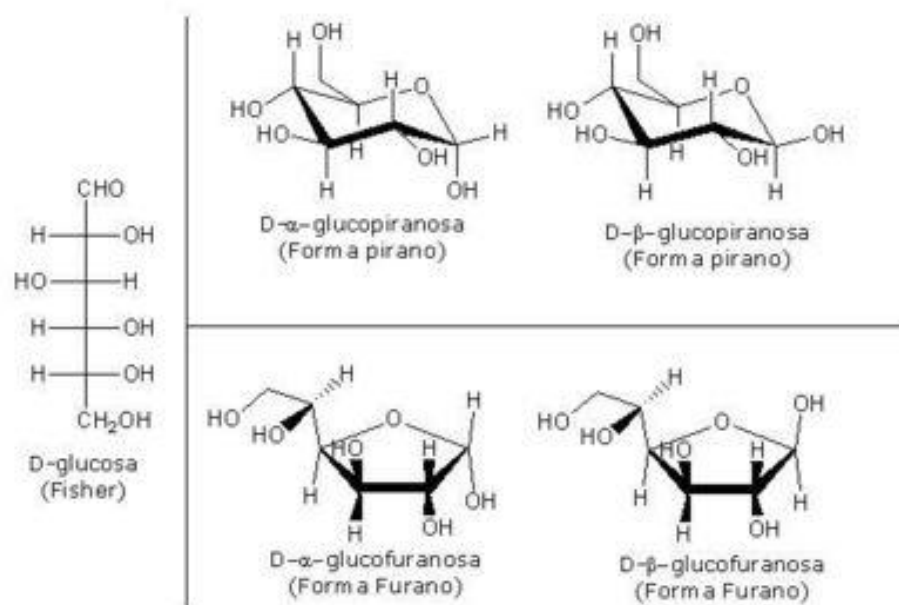


Figura 5. FORMAS CÍCLICAS DE LA GLUCOSA

Fuente: "<http://es.wikipedia.org/wiki/Glucosa>"

2.5. CONSIDERACIONES CINÉTICAS

2.5.1. Reacciones heterogéneas

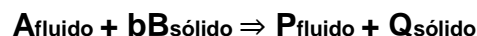
Como es conocido, la cinética estudia los sistemas lejos del equilibrio y en la coordenada tiempo, por lo cual no sólo es útil en diseño sino también en la investigación de mecanismos de reacción. Si se conocen las etapas a través de las cuales se verifica una reacción, se tienen las condiciones para favorecerla o inhibirla.

En cinética, se distingue entre reacciones homogéneas y reacciones heterogéneas.

El primer término se refiere a las reacciones que suceden dentro de una sola fase, por ejemplo, entre moléculas de un gas o de una disolución. Una reacción se denomina heterogénea si hay más de una fase. Muchas reacciones que aparentemente son homogéneas, en realidad, son heterogéneas puesto que éstas ocurren en las paredes del reactor o en la superficie de alguna otra fase.

A continuación, se realiza una breve descripción de los conceptos cinéticos para reacciones que transcurren en sistemas heterogéneos, puesto que la reacción de precipitación de plata ocurre de esta manera.

La reacción química ocurre en una interfase sólido – líquido y en términos generales puede ser representada por la siguiente ecuación. Viñals J. (2000)



Las etapas generales que conforman este sistema son:

1. Transporte de A a la superficie del sólido B.
2. Transporte de A a través de la capa de productos sólidos Q.
3. Adsorción de A en la interfase.
4. Reacción química en la interfase.
5. Desorción de los productos de reacción.
6. Transporte de productos fluidos de reacción a través de la capa de productos sólidos.

7. Transporte de productos fluidos de reacción a través de la película fluida.

Por lo general, la constante cinética para una de las etapas mencionadas es significativamente menor que para las otras y esta etapa será la que controle la cinética global, en tanto que las demás etapas estarán cerca del equilibrio.

Si las etapas propiamente químicas del proceso son rápidas (etapas 3,4 y 5), la velocidad de reacción depende esencialmente de la velocidad de transporte. En este caso se tiene un control por transporte y por tanto las variables hidrodinámicas, como velocidad del fluido, viscosidad, etc; afectan a la velocidad de reacción. Por otro lado, si la velocidad de las etapas químicas es lenta comparada con la velocidad de transporte se tiene un control químico. En este caso, las variables hidrodinámicas no afectan a la velocidad de reacción, siendo en tal caso muy sensible a la temperatura.

2.5.2. Velocidad de reacción en sistemas heterogéneos

La velocidad de una reacción en sistemas heterogéneos en forma general puede representarse por la siguiente ecuación, Viñals J. (2000).

$$\text{Cantidad de sustancia transformada} = \frac{\text{Velocidad de reacción}}{\text{Tiempo de observación}}$$

2.5.3. Efecto de la temperatura

La forma más práctica de evaluar el efecto de la temperatura es a través del cálculo de la energía de activación del sistema de reacción. Las constantes de velocidad aumentan al incrementarse la temperatura. El químico sueco

Svante Arrhenius encontró que dicho aumento podía describirse de acuerdo a la siguiente ecuación. Viñals J. (2000).

$$k = k_o \exp \left[-\frac{E_a}{RT} \right]$$

Dónde: k_o es el factor de frecuencia, E_a es la energía de activación de la reacción, R la constante de los gases, y T la temperatura. En forma logarítmica la ecuación resulta:

$$\ln k = \ln k_o - \left[\frac{E_a}{R} \right] \left[\frac{1}{T} \right]$$

La representación gráfica de los valores de $\ln k$ frente $1/T$ da una línea recta de pendiente negativa cuyo valor es $(-E_a/R)$. Esto permite determinar la energía de activación del proceso si se conocen previamente las constantes de velocidad a diferentes temperaturas.

En procesos controlados por la reacción química (Viñals J. 2000), la energía de activación es superior a 40 kJ/mol (> 10 kcal/mol). Por otra parte, en procesos controlados por transporte se obtienen valores inferiores a 20 kJ/mol (< 5 kcal/mol). Regímenes de control mixto presentan energías de activación entre 20 y 40 kJ/mol.

2.5.4. Efecto del área superficial

El área de la interfase, en igualdad de otros factores, afecta proporcionalmente a la velocidad de reacción ya que un aumento de dicha área conlleva a un aumento proporcional del número de puntos activos. Por ello, en

las reacciones que intervienen sólidos, una disminución del tamaño de partícula aumenta la velocidad de reacción.

Asimismo, la geometría de la interfase es también muy importante en tales reacciones, ya que condicionará la evolución del área durante la reacción. A igualdad de otros factores, las partículas con geometría laminar reaccionarán rápidamente en contraste con las formas isométricas Viñals J. (2000).

2.5.5. Efecto de la concentración

El efecto de la concentración en las reacciones heterogéneas se ve acentuado en condiciones extremas; es decir, a concentraciones muy bajas, se tiene una difusión lenta y se dice que el proceso está controlado por la difusión. En el otro extremo, a concentraciones muy elevadas, la difusión se verifica más rápidamente y la reacción química será la etapa controlante del proceso Viñals J. (2000).

2.5.6. Cinéticas de extracción

El estudio de la cinética de extracción da una idea del comportamiento del proceso, la observación de la respuesta del sistema versus la temperatura, concentración de solvente y tiempo, para relacionarla con las ecuaciones adecuadas. Ello nos permite obtener coeficientes que describen el fenómeno para fabricar el modelo matemático que se ajusta al proceso y más adelante optimizar el mismo (Spigno 2007).

En la extracción de almidón varios son los parámetros a medir para definir la eficiencia de un proceso en términos de costos (cantidad de almidón obtenido

por cantidad de materia prima; cantidad de kw hora por cantidad de almidón obtenido), en términos de calidad química de almidón (composición química y actividad biológica).

Al relacionar la cantidad de almidón obtenido por cantidad de materia prima se hace referencia al “rendimiento de extracción”, el cual se define como los mililitros (mL) de almidón obtenido de una cantidad en gramos de material vegetal, como lo hace (Bampouli, 2014) algunas veces la ecuación se calcula en masa o en volumen como se muestra en las siguientes ecuaciones del % de rendimiento

$$\% \text{ RENDIMIENTO} = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

En las curvas de la cinética como se muestra en la figura 6 hay un tiempo inicial donde se obtiene extracto acuoso, después se empieza a observar la extracción del aceite esencial el cual ocurre de manera rápida, y por último el proceso se termina cuando se deja de obtener y acumular el aceite esencial.

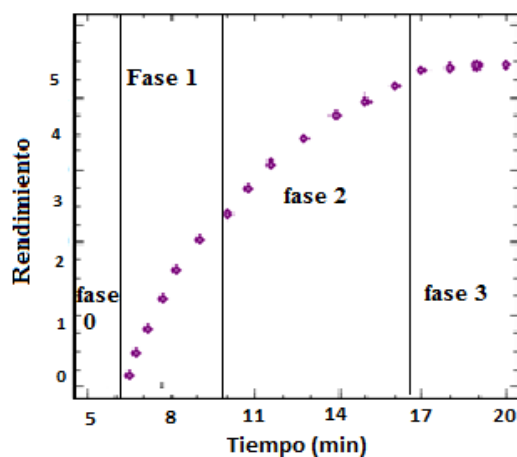


Figura 6. CINÉTICA DE EXTRACCIÓN ACEITE ESENCIAL

Las fases se describen según (Boukroufa, 2015).

- Fase 0: indica el tiempo que se demora en llegar a la temperatura de ebullición
- Fase 1: es una fase preliminar hay un incremento en el rendimiento.
- Fase 2: Está representada por una curva lineal que aumenta. Representa la acumulación del aceite en la cual se puede obtener hasta el 24% de la extracción. Durante esta etapa el aceite se volatiliza rápidamente y se mezcla con el vapor de agua y así puede ser separado de las matrices vegetales.
- Fase 3: está representada por una línea horizontal que marca el final del proceso de extracción, donde no se obtiene más aceite.

2.5.7. de Cinética adsorción

El estudio de una reacción química puede hacerse desde el punto de vista termodinámico o desde el cinético. El estudio termodinámico permite conocer la posición en la cual la reacción alcanzará el equilibrio. Cuantitativamente la posición de equilibrio viene definida por la constante de equilibrio, que representa el cociente de las actividades de productos y reaccionantes:

Reacciones de primer orden:

Corresponden a procesos elementales unimoleculares, Latham, J.L. (1980):

$$A \rightarrow P$$

El análisis de las diferentes figuras donde se muestra la cinética de extracción de regresión se ha calculado empleando el almidón y nos indica que a medida que transcurre el tiempo la concentración de almidón va aumentando en forma lineal la cual obedece a la siguiente ecuación que también nos permite el cálculo de la constante cinética K según:

$$\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = -kt$$

Dónde:

$[A]_t$ = Concentración en el tiempo t

$[A]_0$ = Concentración en el tiempo 0 (concentración inicial)

k = Constante de orden (constante cinética)

t = Tiempo transcurrido

Ordenado la ecuación con la cual se calcula k, tenemos:

$$\ln[A]_t - \ln[A]_0 = -kt$$

2.6. MARCO CONCEPTUAL

2.6.1. Amilopectina

Molécula del almidón que tiene ramificaciones y está constituida por muchos anillos de glucosa unidos entre sí para formar largas moléculas con numerosas ramificaciones laterales cortas. Las moléculas de amilopectina son significativamente más grandes que las moléculas de amilosa; algunas contienen entre 10000 y 20000 unidades de glucosa. La amilopectina es esencialmente insoluble en agua caliente (Charley, 1998).

2.6.2. Amilosa

Polisacárido lineal compuesto por unidades de glucosa unidas mediante enlaces de tipo α 1-4. Forma parte del almidón junto con la amilopectina (Charley, 1998).

2.6.3. Diseño experimental

Es el conjunto de normas y reglas que nos permite obtener mejores resultados a través de una muestra, reducir el error experimental, es la distribución de los tratamientos en las unidades experimentales o viceversa, teniendo en cuenta ciertas restricciones en el azar, con fines específicos, que tiendan a disminuir el error experimental. Se efectúa esta distribución con el propósito de obtener la información que sea pertinente al problema bajo investigación de modo que una vez realizado el análisis de los resultados, se obtenga conclusiones válidas. (Medina,1998).

2.6.4. Gelatinización

Es un proceso hidrotérmico de acción irreversible, es decir, el almidón absorbe agua para formar un líquido viscoso y al enfriarse se transforma en gel. Los gránulos de almidón en suspensión acuosa y expuesta a temperaturas mayores de 60 grados centígrados se hinchan o pierden su forma (gelatinización) (Lee *et al.*, 1999).

2.6.5. Hidratos de carbono

Son aquellas moléculas orgánicas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno que resultan ser la forma biológica primaria de almacenamiento y consumo de energía.

2.6.6. Solubilidad

Es una medida de la capacidad de disolverse una determinada sustancia (solute) en un determinado medio (solvente); implícitamente se corresponde con la máxima cantidad de soluto disuelto en una dada cantidad de solvente a una temperatura fija y en dicho caso se establece que la solución está saturada. Su concentración puede expresarse en moles por litro, en gramos por litro, o también en porcentaje de soluto (m (g)/100 mL) (Alcázar, 2002).

2.6.7. Poder de hinchamiento

El poder de hinchamiento de un almidón es el peso de gránulos dilatados por gramo de almidón seco (Charley, 1998).

2.6.8. Temperatura

Es una medida del nivel energético de los cuerpos. Las escalas de temperatura se establecen asignando un valor a ciertas temperaturas que se pueden reproducir fácilmente como el punto de congelación y el punto de vaporización del agua. Se usan por lo general dos escalas Fahrenheit y la Celsius (Alcázar, 2002).

2.6.9. Tubérculo

Porción muy engrosada de ciertos tallos subterráneos (estolones y rizomas) que se ha modificado para acumular sustancias de reserva. Tiene yemas axilares a los lados y en el extremo, porción de tallo engrosado generalmente subterránea. Los tubérculos son ricos en sustancias de reserva. En su superficie suelen tener catafilos y yemas. También, por extensión, se dice de cualquier prominencia verrucosa más o menos redondeada de la superficie de un órgano. En las Cactáceas reciben esta denominación las protuberancias más o menos cónicas o en forma de mamila que cubren el tallo. Cada tubérculo es un podario (Alfaro, 1995).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El desarrollo del estudio de investigación se realizó en el Laboratorio de Control de Calidad de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química UNA – Puno

- **Ubicación**

Provincia : Puno

Departamento : Puno

Dirección : Av. Sesquicentenario N°1150

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materia prima

Se seleccionó como materia prima la variedad de oca conocida con el nombre de Yurac Panti. Esta es una de las variedades que presenta mayores rendimientos y que se cultivan en mayores extensiones sobre todo en las provincias intermedias del departamento de Puno.

Fueron adquiridos en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Salcedo -Puno.

3.2.2. Instrumentos de laboratorio

- Probeta graduada de 100 mL.
- Matraz Erlenmeyer de 100 mL, marca pírex
- Vasos de 500 mL, 19 unidades
- Baguetas
- Embudo
- Cedazo de tela equivalente a malla 100
- Vasos precipitados de 100 mL, 250 mL y 600 mL de marca pírex.
- Cisoles de porcelana de tipo 109 N° 225 mL.
- Cocina de digestión.
- Balanza analítica
- Termómetro de - 1° a 110°C
- pH metro digital Fisher -0,01 pH
- Tamices de la serie Tyler – malla 100
- Baño María, marca MEMERT de acero inoxidable.
- Pera de decantación de 150mL de vidrio marca pírex.

3.2.3. Reactivos

- Hidróxido de sodio (99 %)
- Ácido sulfúrico (c)
- Hidróxido de calcio
- Etanol
- Agua destilada

3.3. METODO EXPERIMENTAL

3.3.1. Obtención del almidón

Para el desarrollo experimental se ha utilizado la oca “Oxalis tuberosa” de la variedad Yurac Panti, que cumple con todos los requisitos de materia prima y por tener una producción bastante importante en nuestra región.

Se ha tomado un peso inicial total de 5 kg del material biológico caracterizado, para proceder al análisis de laboratorio y establecer las condiciones iniciales de operación, que consistió en lo siguiente:

3.3.2. Descripción del proceso de obtención del almidón

➤ **Materia prima**

Para cada prueba según el diseño experimental se ha utilizado 40 g de Oxalis tuberosa fresca (oca)

➤ **Selección y limpieza**

Se seleccionó la materia prima con el objeto de eliminar todo tipo de contaminantes físicos luego, se extrajeron las partes dañadas de los tubérculos, así como las raicillas.

➤ **Lavado**

El lavado se efectuó en forma manual con abundante agua potable, se repitió 2 veces con la finalidad de eliminar tierra, piedras y otras impurezas de los tubérculos.

➤ **Rallado**

20 g de Oxalis tuberosa fresca (oca), es rallado; pasando el producto a un vaso y limpiando cuidadosamente el rallador a fin de no dejar nada del material, completando con agua hasta el volumen de 400 mL para cada prueba del diseño experimental.

En el volumen ajustado se ha acondicionado el pH, utilizándose con esta finalidad el NaOH gota a gota hasta conseguir un pH cercano a 7, prácticamente solución neutra.

En estas condiciones se introdujo a baño maría a la temperatura requerida, según el diseño durante 2 horas.

➤ **Tamizado**

Una vez desleída (suspensión) el rallado con el agua, se ha prensado manualmente en el cedazo y sobre un embudo de filtración, quedando en el cedazo la torta, pasando el almidón suspendido en el agua.

➤ **Decantado**

La suspensión se deja por 24 horas para que sedimente el almidón, luego se procede a decantar con mucho cuidado a fin de no agitar y separar el almidón precipitado en el vaso del agua sobrenadante.

➤ **Lavado**

El precipitado se lava superficialmente con agua destilada, para diluir el almidón, procediendo luego al secado a temperatura ambiente durante 48 horas, al cabo de este tiempo la masa estaba seca y con aspecto pulverulento y de color blanco cristalino.

Los pesos fueron medidos en la balanza analítica, expresándolos en porcentaje para 8 pruebas, obteniéndose los valores mostrados en la tabla 10.

Tabla 10. VALORES DE LA RESPUESTA (Y)

No. DE PRUEBA	TIEMPO (minutos)	PESO DEL ALMIDÓN EXTRAIDO (g.)	% DE ALMIDÓN (Y)
1	5	4,503	22,51
2	10	4,612	24,06
3	15	4,838	25,17
4	20	4,947	25,93
5	25	5,314	26,57
6	30	5,404	27,02
7	35	5,498	27,49
8	40	5,508	27,54

Fuente. Elaboración propia

3.3.3. % de almidón

La variable respuesta Y se cuantifica en el porcentaje del almidón obtenido en función del tiempo (Betancur-Ancona *et al.*,2001), el cual se determinó de la siguiente manera:

$$\%Y = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

$$\% Y = \frac{4,5036 \text{ g}}{20 \text{ g}} \times 100$$

$$Y = 22,51 \%$$

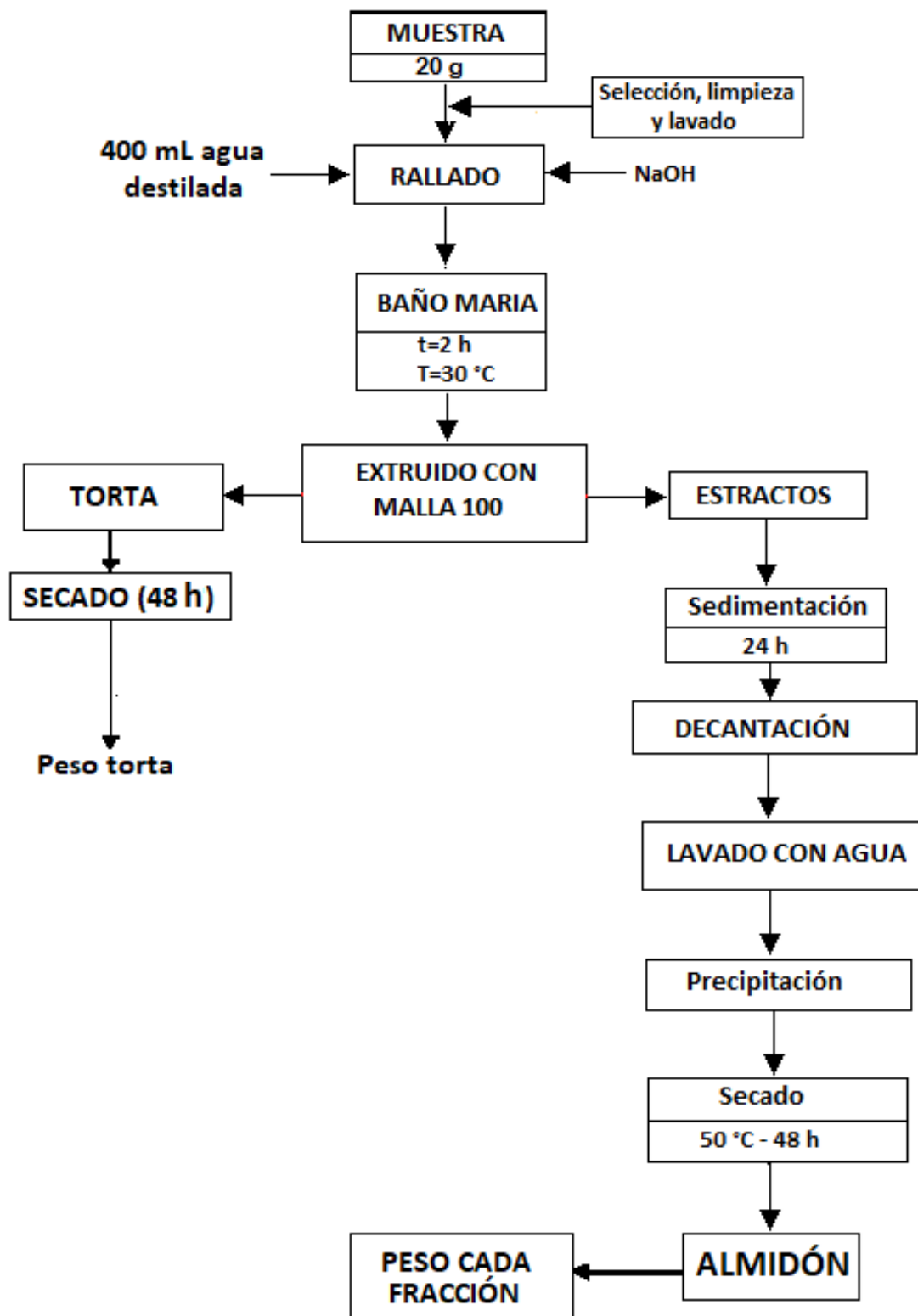


Figura 7. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE OCA

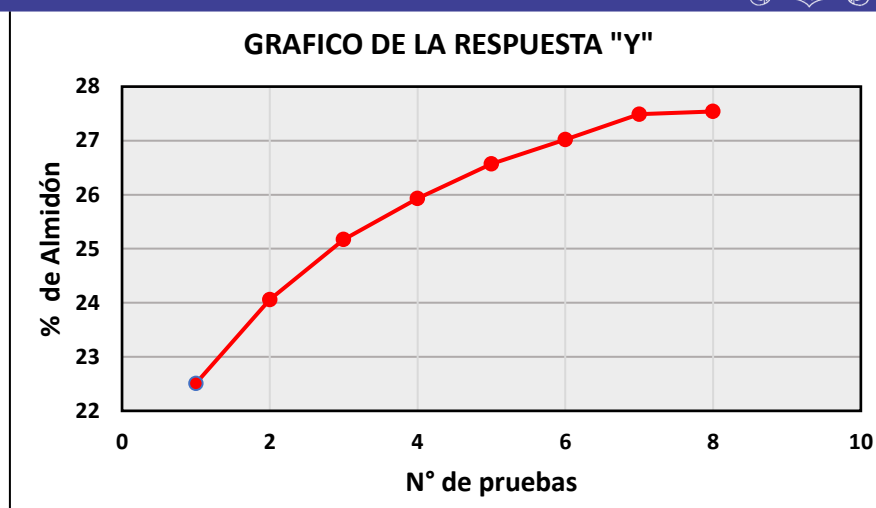


Figura 8. COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO

3.4. MÉTODO DE ANÁLISIS

3.4.1. Rendimiento

La variable respuesta del diseño factorial se cuantifica en el porcentaje de rendimiento del almidón obtenido en función del tiempo (Betancur-Ancona *et al.*2001), el cual se determinó de la siguiente manera:

$$\% \text{RENDIMIENTO} = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

%R = Rendimiento de extracción del almidón

W_1 = Peso inicial de la muestra (peso de la oca)

W_2 = Peso del almidón extraído

3.4.2. Composición proximal

3.4.2.1. Materia prima

Las determinaciones que se realizaron fueron las siguientes, las mismas que se observan en el anexo A.

a. Humedad

- Se tomó cuatro muestras de oca cada una de 20 g.
- Se cortó en rodajas con espesores de entre 1 y 2 mm.
- Tres de estas porciones se secaron en estufa por 24 horas, siendo la temperatura final de calentamiento menor a 100 °C, mientras que la cuarta muestra se seca al ambiente por 72 horas.
- Luego se procede a pesar las muestras secadas y por diferencia se establece la humedad removida de las muestras, tal como muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 11. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

MUESTRA	PESO HUM. (g)	PESO SECO g.	% HUMEDAD
A	20,00	5,40	73,00
B	20,00	4,90	75,50
C	20,00	5,30	73,50
D	20,00	5,60	72,00
		Promedio	73,50

A, B, C y D: Muestras secadas a menos de 100°C por 24 horas.

Cálculos:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Donde:

% Hu = Porcentaje de humedad.

Wf = Peso final de la muestra.

Wi = Peso inicial de la muestra

$$\% \text{ Humedad} = \frac{20-5,40}{20} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 73 \%$$

3.4.2.2. Análisis estadístico para la obtención de almidón

➤ Diseño factorial 2^k

El diseño factorial de experimentos es una técnica estadística que permite planificar eficientemente la experimentación de modo que con un número mínimo de ensayos se logre determinar la significancia de cada una de las variables independientes evaluadas, el efecto de sus interacciones y se obtiene un modelo matemático empírico, que constituye la base para un proceso posterior de optimización. Para el desarrollo matemático experimental se ha utilizado el programa Statgraphics Centurión XVI.

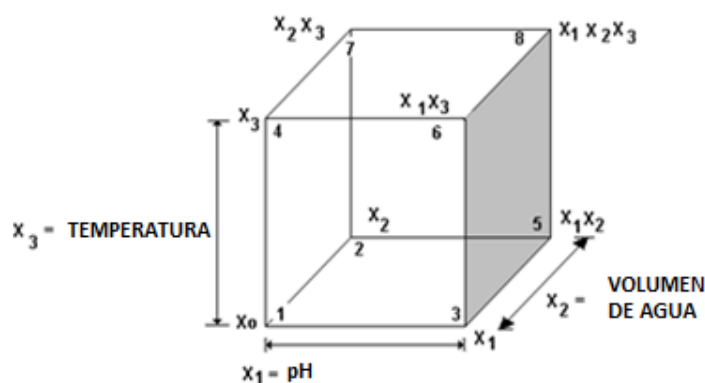


Figura 9. ORTOGONALIDAD DEL PROCESO ESTADÍSTICO

Para nuestro caso los factores serán optimizados en experimentos factoriales generales, tomándose en cuenta tres factores con dos niveles.

Para la determinación de la muestra o número de experimentos, en un diseño factorial completo se da la siguiente ecuación:

$$N = 2^k$$

Donde:

N = Número total de experimentos

k = Número de variables

En nuestro caso, como hemos mencionado, se realiza un experimento que depende de tres factores y se plantea dos niveles, por lo que se requerirán:

$$\text{Número de experimentos} = N^k = 2^3 = 8 \text{ experimentos}$$

➤ **Influencia de las variables: pH, volumen de agua y temperatura de extracción**

El modelo factorial asume cierta linealidad y debe predecir adecuadamente todos los puntos de diseño, incluyendo el central. Por lo que elegimos 3 variables que según muestras pruebas exploratorias intervienen y mejoran la obtención del almidón obtenido. Estas variables son: pH, volumen de agua y temperatura.

Puesto que se desea determinar el efecto de las tres variables sobre el rendimiento de la extracción del almidón (Y), para ello experimentalmente se realizaron pruebas preliminares para determinar los niveles de cada variable, las que se indican en el siguiente cuadro.

**Tabla 12. VARIABLES NATURALES-DATOS DEL DISEÑO
EXPERIMENTAL PARA EL ALMIDÓN**

SIMBOLO	NOMBRE DE LOS FACTORES	UNIDAD	NIVEL (-) INFERIOR	NIVEL (+) SUPERIOR
X ₁	pH	pH	5,0	8,5
X ₂	Volumen de agua	mL	100	400
X ₃	Temperatura de extracción	°C	10	50
Y	% de almidón	%		

Fuente: Elaboración propia.

3.5. OBTENCIÓN DE GLUCOSA

A partir del almidón obtenido en los ítems 3.3.2 caracterizado en 3.4.2 se ha procedido a la hidrólisis ácida.

3.5.1. Descripción del proceso de obtención de la glucosa

- Para cada prueba experimental del diseño, se ha tomado entre 2,50 g de almidón, secado por una hora a 80 °C, la que es transferido al vaso con adición de 50 mL de ácido sulfúrico del 2,5 % para la hidrólisis.
- La hidrólisis se desarrolla por dos horas a ebullición constante, al cabo de este tiempo se adiciona hidróxido de calcio gota a gota, con la finalidad de transformar el ácido sulfúrico libre en sulfato de calcio insoluble, permitiendo su eliminación y obtener un producto de hidrólisis libre de ácido
- El punto final de la adición de hidróxido de calcio se ha controlado con fenolftaleína hasta la aparición de un ligerísimo rosado y por adición de una

solución diluida de ácido sulfúrico se ha llevado a pH neutro, condición que se verifica con el pHmetro.

- Luego de la neutralización, se concentra a medio volumen por evaporación, enfriando después, aquí se nota el incremento del precipitado de CaSO_4 , luego se procede a filtrar en frío, lavando con agua destilada hasta obtener un filtrado transparente e incoloro. Esta solución se calienta para evaporar el agua hasta casi sequedad, para luego adicionar etanol del 96 % (50 mL). Se deja en reposo por 72 horas, tiempo después del cual aparece un precipitado de masa hojosa y acicular de color blanco.
- El sobrenadante etanólico se decanta, lavando a continuación con etanol del 96 %, para inmediatamente proceder al secado a 110 °C por dos horas. Una vez secado, se pesa y se toma una muestra de 0,1 g para disolverlo en agua y determinar la concentración de glucosa.
- Los datos de los ensayos se muestran en la tabla 13. (Y = Glucosa)

Tabla 13. VALORES DE LA RESPUESTA (Y)

No. DE PRUEBA	TIEMPO (minutos)	PESO DE LA GLUCOSA EXTRAIDA (g)	% DE GLUCOSA (Y)
1	5	1,107	44,28
2	10	1,235	49,40
3	15	1,260	54,40
4	20	1,347	57,88
5	25	1,485	60,40
6	30	1,530	62,20
7	35	1,572	63,88
8	40	1,685	65,40

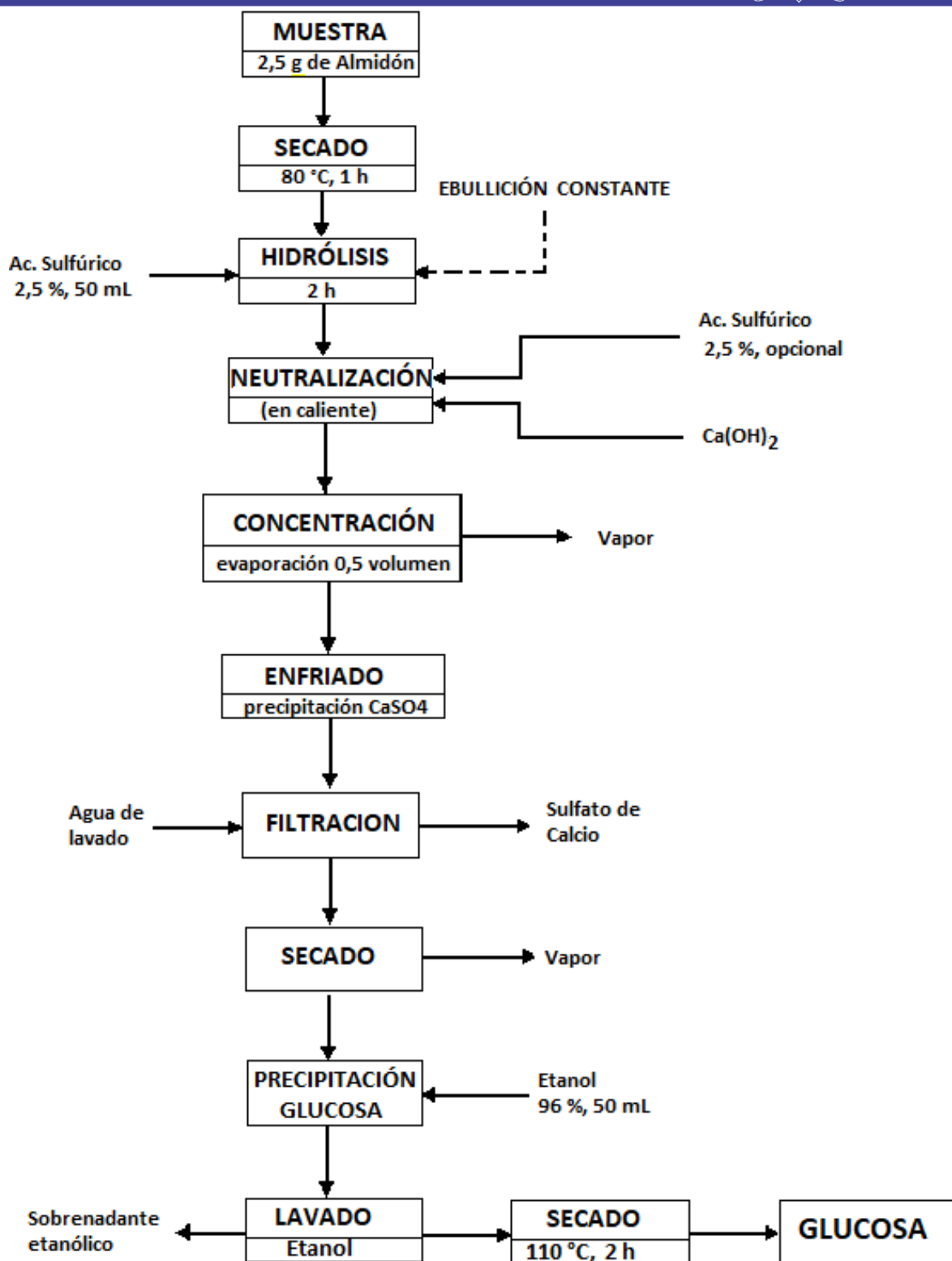


Figura 10. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCIÓN DE GLUCOSA DEL ALMIDÓN DE OCA

3.6. METODOS DE ANALISIS

3.6.1. Rendimiento

La variable respuesta del diseño factorial se cuantifica en el porcentaje de rendimiento del almidón obtenido en función del tiempo, (Betancur-Ancona *et al.*,2001), el cual se determinó de la siguiente manera:

$$\% \text{RENDIMIENTO} = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

%R = Rendimiento de extracción de glucosa del almidón

W_1 = Peso inicial de la muestra (peso de almidón)

W_2 = Peso de glucosa obtenida

3.6.2. Composición proximal

3.6.2.1. Materia prima

En cada prueba experimental se ha utilizado 2,5 g de almidón obtenido

3.6.2.2. Producto obtenido

El producto obtenido es glucosa hidrolizada

3.7. ANALISIS ESTADISTICO PARA LA OBTENCION DE GLUCOSA A PARTIR DE ALMIDÓN

De acuerdo a los resultados en términos de glucosa hidrolizada se ha determinado los parámetros determinantes para este proceso hidrolítico.

Los parámetros determinantes son:

- pH
- Concentración de almidón
- La temperatura

3.7.1. Influencia de las variables: pH, concentración y temperatura

Puesto que se desea determinar el efecto de las tres variables sobre el rendimiento de la extracción de la glucosa del almidón (Y), para ello experimentalmente se realizaron pruebas preliminares para determinar los niveles de cada variable, las que se indican en el siguiente cuadro.

Para esta parte experimental, se han utilizado los mismos criterios del modelo matemático que para la obtención del almidón.

Tabla 14. VARIABLES NATURALES-DATOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA GLUCOSA

SIMBOLO	NOMBRE DE LOSFACTORES	UNIDAD	NIVEL (-) INFERIOR	NIVEL (+) SUPERIOR
X ₁	pH	pH	2	6
X ₂	Concentración de almidón	g/mL	10	30
X ₃	Temperatura de extracción	°C	10	50
Y	% Glucosa	%		

3.8. Estudio cinético en el proceso de obtención de almidón y glucosa

El perfil cinético para la obtención de almidón y glucosa fue estudiado considerando una concentración inicial de 20 g/L de oca para cada obtención de almidón y 2,5 g/L de almidón obtenido para obtener glucosa y tiempos de trabajo de 5 a 40 min para cada caso.

La constante cinética K (constante de orden), se ha calculado de la siguiente manera:

$$\ln[A]_t - \ln[A]_0 = -kt$$

- **Constante cinética para el almidón**

Concentración inicial = 20 g/L

Concentración Final = 4,503 g/L

Porcentaje de reducción de glucosa = 22,51 %

Porcentaje que queda sin reducción = 77,49 % = 0,7749

$$k = \frac{\ln[0,7749]_t - \ln[1]_0}{-5 \text{ min}}$$

$$k = \frac{-0,1107 - 0}{-5}$$

$$k = 0,022$$

- **Constante cinética para la glucosa**

Concentración inicial = 2,0 g/L

Concentración Final = 1,157 g/L

Porcentaje de reducción de glucosa = 44,28 %

Porcentaje que queda sin reducción = 55,72 % = 0,5572 %

Despejando k tenemos:

$$k = \frac{\ln[0,5572]_t - \ln[1]_0}{-5 \text{ min}}$$

$$k = \frac{-0,5848 - 0}{-5}$$

$$k = 0,1169$$

Para los cálculos se utiliza el porcentaje que quedó sin reducción, y esta constante es la misma en todo el proceso, tanto para las 8 pruebas de obtención de almidón y de las 8 pruebas de obtención de glucosa.

Los cálculos totales para el valor de k se observan en el anexo F

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. OBTENCIÓN DE ALMIDÓN Y GLUCOSA

Para la extracción de almidón se utilizaron 500 g de oca limpia, se realizaron 8 pruebas con un peso de 20 g cada prueba, lo cual hace un total de 160 g, habiéndose obtenido 40,609 g de almidón, con un rendimiento del 25,38 % como promedio. Para la obtención de glucosa se realizaron también 8 pruebas con un peso de 2,5 g para cada prueba, lo cual hace un total de 20 g, obteniéndose un total de 11,44 g de glucosa en total con un 57,20 % de rendimiento como promedio.

4.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN Y GLUCOSA DE LA OCA

Se realizó una caracterización y análisis químico proximal para el almidón y glucosa extraído de la oca, aplicando técnicas de análisis y pruebas de calidad, para verificar sus propiedades tanto físicas y químicas. Los resultados de los análisis y pruebas han demostrado que el almidón extraído por el método propuesto en la metodología de extracción, contiene un rendimiento del 25,38 % como promedio y 56,11 % de glucosa. En el siguiente cuadro se presentan los resultados del análisis químico proximal realizado a la materia prima oca.

Tabla 15. ANALISIS PROXIMAL DE LA OCA

CARACTERÍSTICAS (%)	OCA
Humedad	73,50
Proteína	6,01
Grasa	2,53
Fibra	1,18

Fuente: Elaboración propia

El análisis proximal es el método más usado para expresar con calidad nutritiva global de un alimento, puesto que mide la cantidad de nutrientes presentes.

4.2.1. Rendimiento de obtención del almidón en porcentaje (%)

Tabla 16. RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN

No. DE PRUEBA	PESO DEL ALMIDÓN EXTRAIDO (g.)	% DE ALMIDON (Y)
1	4,503	22.51
2	4,612	24.06
3	4,838	25.17
4	4,947	25.93
5	5,314	26.57
6	5,404	27.02
7	5,498	27.49
8	5,508	27.54

Fuente: Elaboración propia

El mejor resultado en porcentaje de obtención de almidón fue del 25,74 % como promedio, mientras que en el trabajo de investigación de Surco 2004, el rendimiento de obtención de almidón a partir de la oca fue del 12,85%, mientras que García 2015, obtiene un rendimiento de obtención de almidón de oca del

10,74 %, y del camote 6,26 %, para Hermosa el rendimiento en almidón para la oca fue de 13.04 %.

4.2.2. Rendimiento de obtención de la glucosa en porcentaje (%)

Con respecto a la obtención de glucosa se ha utilizado 2,5 g de almidón, obteniéndose un peso de peso de 11,44 g de glucosa, el procedimiento usado fue el de glucosa hidrolizada, mientras que la glucosa 56,11 % como promedio.

Tabla 17. RENDIMIENTO DE LA GLUCOSA

No. DE PRUEBA	PESO DE LA GLUCOSA EXTRAIDA (g.)	% DE GLUCOSA (Y)
1	1,107	44,28
2	1,235	49,40
3	1,260	54,40
4	1,347	57,88
5	1,485	60,40
6	1,530	62,20
7	1,572	63,88
8	1,685	65,40

Con respecto a la producción de glucosa en nuestro trabajo se obtuvo en porcentaje 60,98 % como promedio, mientras que Duque 2014 obtiene un 95 % para la producción de glucosa a partir de pulpa de plátano, utilizando una dilución de 208 g/L de pulpa llega a ser de 68 g/L.

4.3. PARAMETROS OPTIMOS UTILIZADOS EN LOS DISENOS EXPERIMENTALES.

➤ **Parámetros óptimos para la obtención del almidón de la oca**

El modelo factorial asume cierta linealidad y debe predecir adecuadamente todos los puntos de diseño, incluyendo el central. Por lo que elegimos 3 variables que según muestras pruebas exploratorias intervienen y mejoran la obtención del almidón obtenido. Estas variables son: pH, volumen de agua y temperatura.

En el presente trabajo de investigación se ha efectuado la optimización eficaz del proceso, encontrando los rangos de trabajo más óptimos de dicho proceso, se trabajó en función a los factores y niveles establecidos anteriormente en el siguiente cuadro:

Tabla 18. PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA LA OBTENCIÓN DE AMIDÓN DE LA OCA

SIMBOLO	NOMBRE DE LOS FACTORES	UNIDAD	NIVEL (-) INFERIOR	NIVEL (+) SUPERIOR
X ₁	pH	pH	5,0	8,5
X ₂	Volumen de agua	mL	100	400
X ₃	Temperatura de extracción	°C	10	50
Y	% de almidón	%		

Tabla 19. MATRIZ DE DISEÑO FACTORIAL $2^3 = 8$ PARA EL ALMIDÓN

N° DE PRUEBA	DISEÑO	COMBINACION DE NIVELES			(RENDIMIENTO %) "Y"
		X ₁	X ₂	X ₃	
1	[1]	5,0	100	10	22,51
2	a	8,5	100	10	23,86
3	b	5,0	400	10	25,19
4	ab	8,5	400	10	25,78
5	c	5,0	100	50	26,57
6	ac	8,5	100	50	27,02
7	bc	5,0	400	50	27,49
8	abc	8,5	400	50	27,54

Determinamos con lo anterior el número de pruebas experimentales a realizar (combinando los valores máximo y mínimo de tres factores establecidos). Para un diseño 2^3 se tiene 8 pruebas experimentales. (Montgomery-1996). Así se tiene las siguientes combinaciones en el siguiente cuadro.

Tabla 20. PARAMETROS OPTIMOS PARA LA OBTENCION DE GLUCOSA DEL ALMIDÓN DE LA OCA

SÍMBOLO	NOMBRE DE LOS FACTORES	UNIDAD	NIVEL (-) INFERIOR	NIVEL (+) SUPERIOR
X ₁	pH	pH	2	6
X ₂	Concentración de almidón	g/mL	10	30
X ₃	Temperatura de extracción	°C	10	50
Y	Glucosa	g/mL		

Puesto que se desea determinar el efecto de las tres variables sobre el rendimiento de la extracción de la glucosa del almidón (Y), para ello experimentalmente se realizaron pruebas preliminares para determinar los niveles de cada variable, las que se indican en la siguiente tabla.

La variable respuesta del diseño factorial se cuantifica en el porcentaje de rendimiento del almidón obtenido.

Tabla 21. MATRIZ DE DISEÑO FACTORIAL $2^3 = 8$, PARA LA GLUCOSA

N° DE PRUEBA	DISEÑO	COMBINACIÓN DE NIVELES			VARIABLE RESPUESTA (RENDIMIENTO %) "Y"
		X ₁	X ₂	X ₃	
1	[1]	2,0	10	10	49,3
2	a	6,0	10	10	54,4
3	b	2,0	30	10	58,4
4	ab	6,0	30	10	61,9
5	c	2,0	10	50	64,4
6	ac	6,0	10	50	64,2
7	bc	2,0	30	50	66,9
8	abc	6,0	10	50	67,4

Conforme a lo establecido, el diseño factorial es de 8 corridas experimentales, lo que nos da una visión de los efectos de las variables que permitirá visualizar los efectos y resultados finales.

El diseño factorial experimental y la formulación del propósito sigue los mismos pasos que para la obtención del almidón.

4.3.1. Ecuación matemática de la cinética

La constante cinética K (constante de orden), se ha calculado con la siguiente ecuación:

$$\ln[A]_t - \ln[A]_0 = -kt$$

$$k = \frac{\ln[A]_t - \ln[A]_0}{-t}$$

4.4. MODELO MATEMATICO PARA LA OBTENCION DE ALMIDON Y GLUCOSA DE LA OCA Y CINETICA DE EXTRACCIÓN

4.4.1. Modelos matemáticos del almidón y de la glucosa

La validez del modelo de regresión matemático queda demostrada por la similitud de los valores hallados por el modelo matemático y los resultados experimentales, los cuales se detallan en los anexos E y F

Por consiguiente, se concluye que el pH, es la variable más significativa en el proceso de obtención de almidón de la oca.

$$Y = 17.6491 + 1.00143 * \text{pH} + 0.00475 * \text{Volumen} - 0.007375 * \text{Temperatura}$$

En el proceso de obtención de glucosa a partir del almidón obtenido, su modelo matemático es el siguiente, en donde la variable más significativa es la concentración de almidón.

$$Y = 77.0813 - 1.14375 * \text{pH} - 0.66125 * \text{Concentración} - 0.105625 * \text{Temperatura}$$

4.4.2. Estudio cinético en el proceso de obtención de almidón y glucosa

Al relacionar la cantidad de almidón obtenido por cantidad de materia prima se hace referencia al “rendimiento de extracción”, el cual se define como los mililitros de almidón obtenido de una cantidad en gramos de material vegetal, algunas veces la ecuación se calcula en masa o en volumen como se muestra en las siguientes ecuaciones del % de rendimiento

$$\% \text{RENDIMIENTO} = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

Con respecto a la cinética de extracción del almidón y de la glucosa, los rendimientos nos indican la cinética de extracción. Para el almidón 25,74 % y para la glucosa el 60,98 %

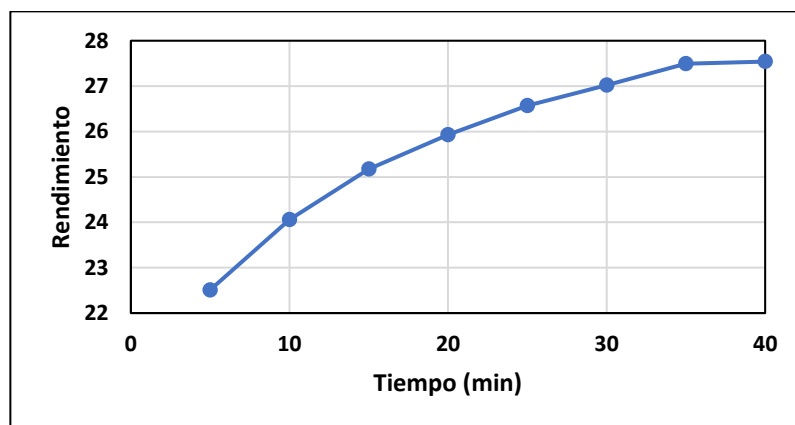


Figura 11. CINÉTICA DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN.

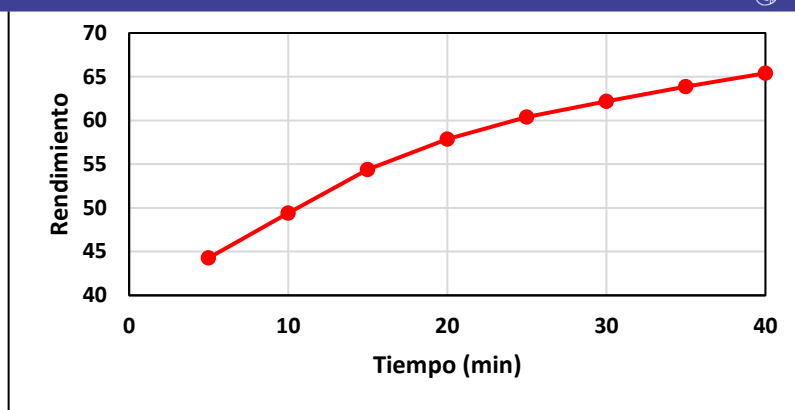


Figura 12. CINÉTICA DE EXTRACCIÓN DE LA GLUCOSA

Se ha encontrado que a un tiempo de 5 min y una concentración inicial de 20 g/L, el valor de k fue de 0,022 para el almidón y $k=0,1169$ para la glucosa con una concentración de 2,5 g/L.

Los demás valores calculados en función del tiempo de la pendiente K se observan en el anexo F

V. CONCLUSIONES

- Las pruebas demuestran que se ha obtenido 40,609 g de almidón, con un rendimiento del 25,38 %, y glucosa 11,44 g con un rendimiento del 57.20 %, lo cual nos demuestra la eficacia del proceso. La cinética de extracción ha sido determinada por la teoría de “rendimiento de extracción” demostrada por Bampouli.
- El procedimiento experimental para la obtención de la glucosa y almidón, demuestra la eficiencia para la obtención de almidón y glucosa, utilizando la variedad de oca “Yurac panti”, la cual contiene 73,50 % de humedad, 6,01 % de proteína, 2,53 % de grasa y 1,18 % de fibra.
- Las pruebas demuestran que los parámetros óptimos para nuestro diseño experimental para la obtención de almidón fueron, pH de 8,5, volumen de agua 400 mL y 10 °C de temperatura de extracción. Para la obtención de glucosa, los parámetros óptimos fueron, la concentración de almidón 10 g/mL, temperatura de extracción 10 °C y un pH de 10.
- Los modelos matemáticos para la obtención de almidón y glucosa respectivamente son (anexos E y F).

$$Y = 17.6491 + 1.00143 \cdot \text{pH} + 0.00475 \cdot \text{Volumen} - 0.007375 \cdot \text{Temperatura}$$

Su coeficiente de correlación es R-cuadrada = 98.3104 %, que corresponde al almidón.

$$Y = 77.0813 - 1.14375 \cdot \text{pH} - 0.66125 \cdot \text{Concentración} - 0.105625 \cdot \text{Temperatura}$$

El coeficiente de correlación para la glucosa es R-cuadrada = 98.8607 %.

Del estudio de la cinética se determinó que el proceso de obtención de almidón y glucosa por la teoría de “rendimiento de extracción” alcanza buenos resultados, 25,74 %, y 60,98 % respectivamente y el valor de $k = 0.022$ para el almidón y $k = 0,1169$ para la glucosa.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios para la posibilidad de fomentar el uso industrial de almidón de oca.
- Realizar pruebas de sustitución de almidones comerciales con este almidón en la elaboración de productos alimenticios.
- Investigar la aplicabilidad de los almidones de oca en la elaboración de empaques biodegradables.
- Realizar un estudio técnico- económico que demuestre la factibilidad de la instalación de una planta de almidón de este tubérculo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALFARO, G. 1995. El mundo andino y sus alimentos. En Memorias del Ciclo de Conferencias sobre Alimentos Andinos (Cochabamba, 8 al 11 de abril de 1995). Lima G. Alfaro y S. Salas editores. Bolivia.
- ARBIZU, C. Y. TAPIA, M. 1992. Tubérculos andinos. En: Cultivos marginados, otra perspectiva de 1492. Ed. J.E. Bermejo y J. León. FAO-Jardín Botánico de Córdoba, España.
- BALDWIN, P. M. 2001. Estudio del granulo-asociado a proteínas y polipéptidos, Potosi Bolivia.
- BAMPOULI, A. K. (2014). *Comparison of different extraction methods of Pistacialentiscus var. chia leaves: Yield, antioxidant activity and essential oil chemical composition*. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 81-91
- BETANCUR-ANCONA, D.; CHELL, L.; CAMELO, R AND DÁVILA, G. 2001. Physicochemical and functional characterization of baby Lima bean (*Phaseolus lunatus*) starch. Starch/53. 219 – 226.
- BOUKROUFA, M. B. (2015). *Bio-refinery of orange peels waste: A new concept based on integrated green and solvent free extraction processes using ultrasound and microwave techniques to obtain essential oil, polyphenols and pectin*. Ultrasonics Sonochemistry, 72-79
- CÁRDENAS, M. 1985. Informe sobre Trabajos hechos en Bolivia sobre Oca, Ulluco, y Mashua en avances en las Investigaciones sobre Tubérculos Alimenticios de los Andes. Editor: Mario Tapia. Proyecto INIAA CIID ACDI Bolivia. p. 5 – 21.
- COULTATE, T. 1998. Manual de Química y Bioquímica de los Alimentos 2ª Ed. Editorial Acribia S.A. Zaragoza - España.
- CHARLEY, H. 1998. Tecnología de alimentos 1ª Ed. Editorial Limusa S.A. México.
- DUQUE QUINAYA SERGIO (2014) "Evaluación y simulación de la producción de glucosa a partir del plátano y sus residuos como alternativa competitiva en el mercado nacional. Universidad Nacional de Colombia.
- ESPÍN, S.; B. BRITO; E. VILLACRÉS; A. RUBIO; C. NIETO; GRIJALVA, J. (1999). Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos. Ambato- Ecuador.

- GARCIA BAZANTE, KARINA BELEN (2015), Elaboración de cerveza artesanal a partir de almidón extraído de tubérculos andinos, Tesis de Grado para la obtención del Título de Bioquímico Farmacéutico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias Escuela de Bioquímica y Farmacia. Ecuador.
- GUIZAR MIRANDA ALBERTO (2009). Obtención y caracterización física y química del almidón de camote de cerro, Tesis para obtener el Grado de Maestro. Michoacán
- HERMOSA MENDOZA GISELA DEL CARMEN (2013), Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: Isaño (*Tropaeolum tuberosum* R&P) Y Oca (*Oxalis tuberosa* Mol), Tesis para obtener el Título de Ingeniero Agroindustrial.
- HURTADO, J. (1997). Valorización de las amiláceas “no - cereales” cultivadas en los países andinos: Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de sus almidones y de la resistencia a diferentes tratamientos estresantes. Fundación Universidad de Bogotá. Facultad de ingeniería de alimentos. CIAT. Colombia.
- INEI. (2007) Perú: Compendio Estadístico INEI junio. Lima, Perú
- LEE, D.; JACOBS, D.; GROSS, M.; KIEFE, I.; ROSEMAN, J.; LEWIS, C. 1999. Gamma glutamyltransferase is a predictor of incident diabetes and hypertension: Clinical chemistry, 49, 1358 -1366.
- LEWIS, M. 1993. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Editorial Acribia. Zaragoza – España.
- LINDEN, G. Y LORIET, D. 1994. Bioquímica agroindustrial. Revalorización alimentaria de la producción agrícola. Editorial Acribia S.A. Zaragoza - España.
- MENDEZ DE LA CRUZ, A. (2010). Evaluación de la extracción de almidón del banano verde producto de desechos de la industria bananera y evaluación de su función como excipiente en la formulación de comprimidos. CONCYT. Guatemala.
- MOORTHY, S. 2002. Phycochemical and functional properties of tropical tuber starches.
- PERDON, A.; SIEBENMORGEN, T.: BUESCHER, R. Y GBUR, E. 1999. Starch retrogradation and texture of caged milled rice during storage. Journal of food Science.

- PLAN DE DESARROLLO REGIONAL CONCERTADO 2021 al 2010. Puno.
- RAYGADA, M. 2001. Caracterización del almidón de dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild): KANCOLLA Y CHULLPI. Puno - Perú.
- REPO-CARRASCO. 1997. Cultivos andinos y la alimentación infantil Editorial Edi. Agraria. Lima- Perú.
- REYES, P. 2007. Aislado y caracterización físico química del almidón de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) UNALM. Lima – Perú.
- SURCO, F. (2004). Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos mashua (*tropaeolum tuberosum*), oca (*oxalis tuberosa*), olluco (*ullucos tuberosus*) para su aplicación tecnológica. Lima – Perú.
- SPIGNO, L. TRAMELLI, D. DE FAVERI, J. FOOD ENG. (2007), Journal of Food Engineering. vol. 81(1), pp. 200-208.
- TAPIA, M. (1990). Los Tubérculos Andinos (Una revisión de la investigación actualizada) en Avances en las Investigaciones sobre Tubérculos Alimenticios de los Andes. Editor: Mario Tapia. Proyecto INIAA CIID ACIDI. Bolivia. p. 45- 61.
- TESTER, R. AND DEBON, S. (2000). Annealing of starch – a review International Journal of biological Macromolecules.
- TESTER, R AND MORRISON, W. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. effects of amylopectin, amylose, and lipids. Cereal Chemistry 67(6): 551-557.
- WHISTLER, R. (1984). Starch: Chemistry and Technology. 2ª Ed. London. Academic Press.
- VIÑALS J. (2000), Cinética de las reacciones heterogéneas. En Metalurgia Extractiva, Síntesis, España, 1ª Edición, vol 1, capítulo 7, pp 169 – 198.

ANEXOS

A: METODOLOGÍA ANÁLISIS PROXIMAL A.O.A.C.-1990

cálculo y expresión de resultados

B: DETERMINACIÓN DE GRASA: METODOLOGÍA A.O.A.C.

cálculo y expresión de resultados

C: DETERMINACIÓN DE CENIZA: METODOLOGÍA A.O.A.C.

D: DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN

E: DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE GLUCOSA

F: CÁLCULOS PARA EL VALOR DE K

G: FOTOGRAFÍAS DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE OCA

ANEXO A

METODOLOGÍA ANÁLISIS PROXIMAL A.O.A.C.-1990

a) Determinación de humedad; Metodología A.O.A.C.

- Efectuar el análisis en duplicado
- Colocar la cápsula destapada y la tapa durante al menos 1 hora en la estufa a la temperatura de secado del producto.
- Empleando pinzas, trasladar la cápsula tapada al desecador y dejar enfriar durante 30 a 45 min. Pesar la cápsula con tapa con una aproximación de 0.1 mg. Registrar (m_1).
- Pesar 5 g de muestra previamente homogeneizada. Registrar (m_2).
- Colocar la muestra con cápsula destapada y la tapa en la estufa a la temperatura y tiempo recomendado 105 °C por 5 horas.
- Tapar la cápsula con la muestra, sacarla de la estufa, enfriar en desecador durante 30 a 45 min.
- Repetir el procedimiento de secado por una hora adicional, hasta que las variaciones entre dos pesadas sucesivas no excedan de 5 mg (m_3)

CALCULO Y EXPRESION DE RESULTADOS

La humedad del producto expresada en porcentaje, es igual a:

$$\text{Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \%$$

Donde:

m_1 = masa de la cápsula vacía y de su tapa, en gramos

m_2 = masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado, en gramos

m_3 = masa de la cápsula con tapa más la muestra desecada, en gramos

ANEXO B

DETERMINACIÓN DE GRASA: METODOLOGÍA A.O.A.C.

- Preparación de la muestra: En muestras con mucha humedad homogeneizar y secar a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ en estufa de aire considerando el tipo de muestra.
- Moler y pasar por tamiz de malla de 1 mm
- Pesar en duplicado 2 a 5 gramos de muestra preparada en el dedal de extracción o papel filtro previamente pesado y tapado con algodón desgrasado. Registrar m_1
- Secar el matraz de extracción por 30 min a $103 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Pesar el matraz de extracción Registrar m_1
- Poner el matraz de extracción en el sistema soxhlet el dedal en el tubo de extracción y adicionar el solvente al matraz.
- Extraer la muestra con el solvente por 6 a 8 horas a una velocidad de condensación de 3-6 gotas/s
- Una vez terminada la extracción eliminar el solvente por evaporación en rotavapor o baño María bajo campana. Hasta que no se detecte olor a éter.
- Secar el matraz con la grasa en estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por 10 min, enfriar en desecados y pesar. Registrar m_2 .

CALCULO Y EXPRESION DE RESULTADOS

$$\% \text{ grasa cruda} = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100 \%$$

Donde:

m = peso de la muestra

m₁ = tara del matraz solo

m₂ = peso matraz con grasa.

Los resultados se informan en % de materia grasa en base seca o húmeda

Promediar los valores obtenidos y expresar el resultado con 2 decimales.

Repetibilidad: La diferencia de los 2 resultados no debe ser superior al 2 % del promedio.

ANEXO C

Determinación de Ceniza: Metodología A.O.A.C.

DESARROLLO

- Pesar 1 mg en una cápsula previamente calcinada y tarada (p) entre 2 a 5 g de muestra
- Proceder a precalcinarse previamente la muestra en placa calefactora, evitando que se inflame, luego colocar en la mufla e incinerar a 550 °C hasta cenizas blancas o grisáceas.
- Enfriar en desecador y pesar (p₂).
- Expresión de resultados

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{p_2 - p_1}{p} \times 100 \%$$

Donde:

p₁= Peso de la cápsula con la muestra, en gramos.

p₂= Peso de la cápsula con las cenizas, en gramos.

P = masa de la cápsula vacía, en gramos.

ANEXO D

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN

Efectos estimados para Y

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	25.375	0.12438	
A: pH	3.505	0.248759	1.0
B: Volumen	1.425	0.248759	1.0
C: Temperatura	-0.295	0.248759	1.0

Errores estándar basados en el error total con 4 grados de libertad.

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo.

Análisis de Varianza para Y

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: pH	24.57	1	24.57	198.53	0.0001
B: Volumen	4.06125	1	4.06125	32.81	0.0046
C: Temperatura	0.17405	1	0.17405	1.41	0.3013
Error total	0.49505	4	0.123763		
Total (corr.)	29.3004	7			

R-cuadrada = 98.3104 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97.0433 porciento

Error estándar del est. = 0.351799

Error absoluto medio = 0.1875

Estadístico Durbin-Watson = 1.61625 (P=0.2059)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.129999

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 98.3104% de la variabilidad en Y. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97.0433%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.351799. El error medio absoluto (MAE) de 0.1875 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

Coef. de regresión para Y

Coeficiente	Estimado
constante	17.6491
A: pH	1.00143
B: Volumen	0.00475
C: Temperatura	-0.007375

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$Y = 17.6491 + 1.00143 * \text{pH} + 0.00475 * \text{Volumen} - 0.007375 * \text{Temperatura}$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

Resultados Estimados para Y

	Observados	Ajustados	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Fila	Valores	Valores	para Media	para Media
1	23.06	23.0575	22.3668	23.7482
2	26.81	26.5625	25.8718	27.2532
3	24.73	24.4825	23.7918	25.1732
4	27.49	27.9875	27.2968	28.6782
5	22.51	22.7625	22.0718	23.4532
6	26.27	26.2675	25.5768	26.9582
7	24.19	24.1875	23.4968	24.8782
8	27.94	27.6925	27.0018	28.3832

Esta tabla contiene información acerca de los valores de Y generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- (1) los valores observados de Y
- (2) el valor predicho de Y usando el modelo ajustado
- (3) intervalos de confianza del 95,0% para la respuesta media

Optimizar Respuesta

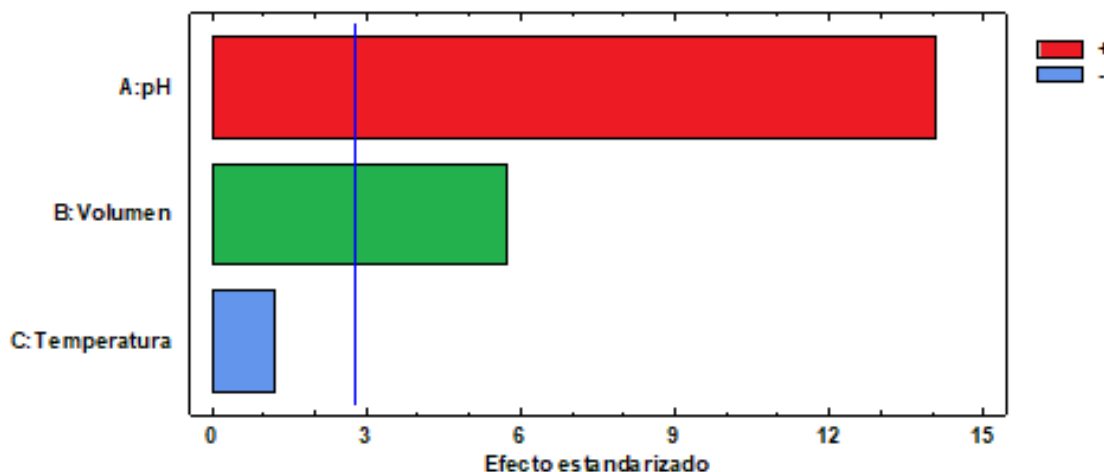
Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 27.9875

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
pH	5,0	8,5	8,5
Volumen	100,0	400,0	400,0
Temperatura	10,0	50,0	10,0

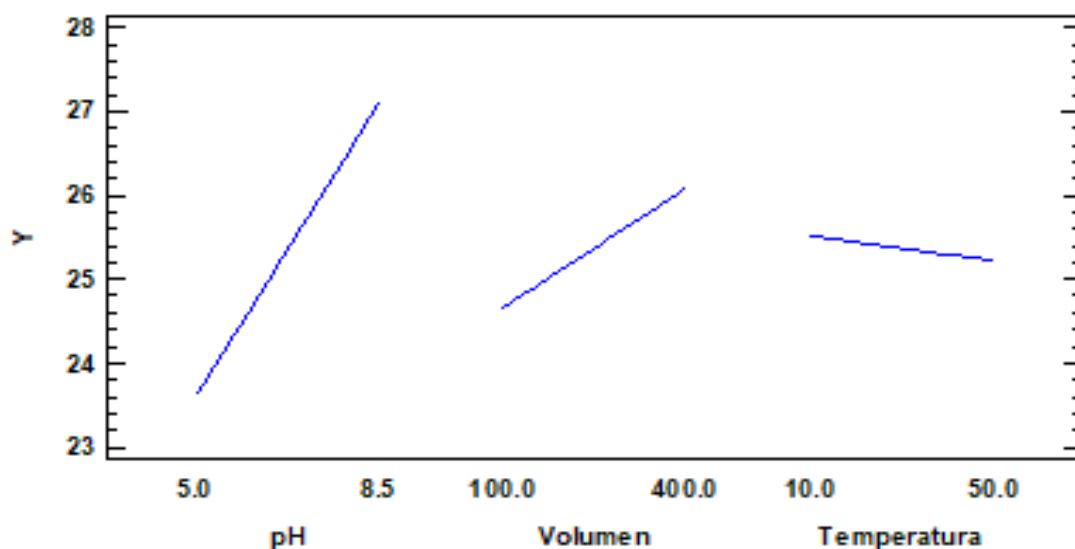
Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Y sobre la región indicada.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Y

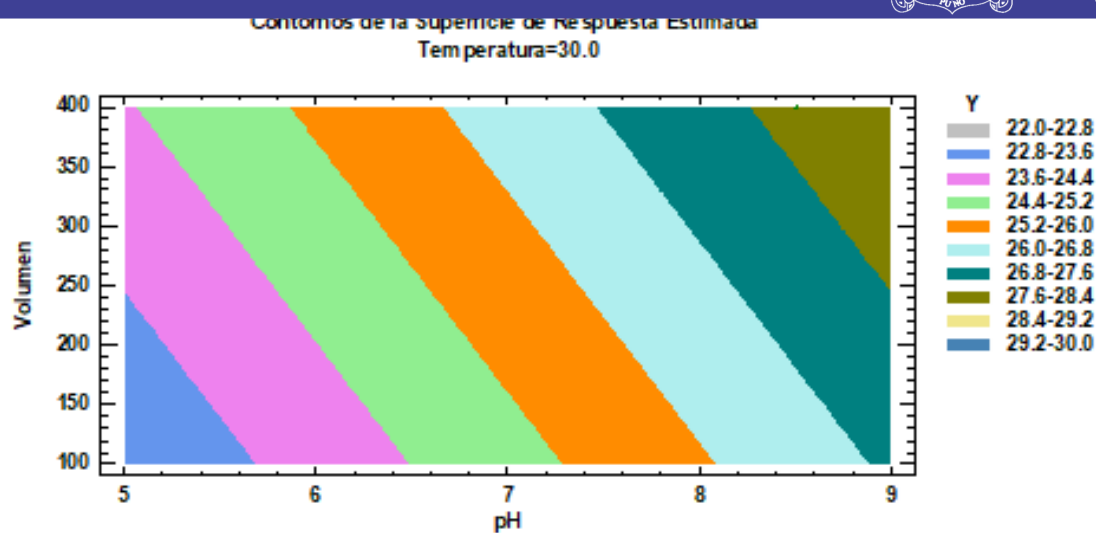


El diagrama de parapeto nos indica que el pH, es la variable que más incide en la obtención de almidón, seguido del volumen de agua, en cambio indica que la temperatura es una variable que no incide en el proceso.

Gráfica de Efectos Principales para Y



La gráfica de efectos principales nos indica que la variable pH tiene un coeficiente de regresión lineal positivo y muy bueno, indica que a mayor pH se obtiene un mayor rendimiento de obtención de almidón.



El gráfico de superficie respuesta demuestra que el pH es la variable que incide de mejor manera para un mayor rendimiento de obtención de almidón con un valor de 29,2 a 30,0

ANEXO E

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE GLUCOSA

Efectos estimados para Y

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	56.1125	0.392309	
A: pH	-4.575	0.784618	1.0
B: Concentración	-13.225	0.784618	1.0
C: Temperatura	-4.225	0.784618	1.0

Errores estándar basados en el error total con 4 grados de libertad.

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1.

Análisis de Varianza para Y

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: pH	41,8612	1	41,8612	34,00	0,0043
B: Concentración	349,801	1	349,801	284,10	0,0001
C: Temperatura	35,7013	1	35,7013	29,00	0,0058
Error total	4,925	4	1,23125		
Total (corr.)	432,289	7			

R-cuadrada = 98.8607 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.0063 %

Error estándar del est. = 1.10962

Error absoluto medio = 0.60625

Estadístico Durbin-Watson = 2.03617 (P=0.4391)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.090736

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 98.8607 % de la variabilidad en Y. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98.0063%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.10962.

Coeficientes de regresión para Y

Coeficiente	Estimado
constante	77,0813
A: pH	-1,14375
B: Concentración	-0,66125
C: Temperatura	-0,105625

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$Y = 77.0813 - 1.14375 * \text{pH} - 0.66125 * \text{Concentración} - 0.105625 * \text{Temperatura}$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

Resultados Estimados para Y

	Observados	Ajustados	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Fila	Valores	Valores	para Media	para Media
1	67,4	67,125	64,9465	69,3035
2	61,2	62,55	60,3715	64,7285
3	53,9	53,9	51,7215	56,0785
4	50,4	49,325	47,1465	51,5035
5	62,9	62,9	60,7215	65,0785
6	59,4	58,325	56,1465	60,5035
7	49,4	49,675	47,4965	51,8535
8	44,3	45,1	42,9215	47,2785

Esta tabla contiene información acerca de los valores de Y generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- (1) los valores observados de Y (si alguno)
- (2) el valor predicho de Y usando el modelo ajustado
- (3) intervalos de confianza del 95.0% para la respuesta media

Optimizar Respuesta

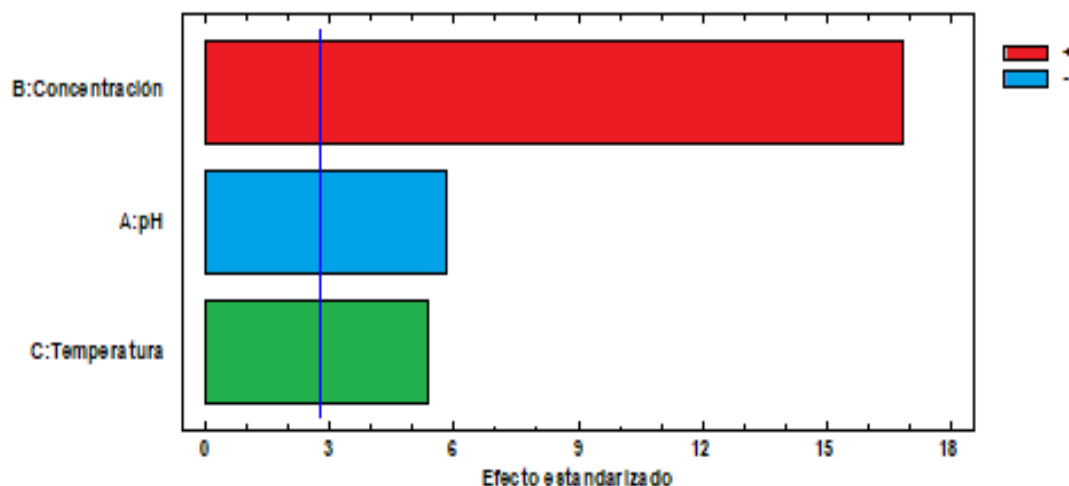
Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 67.125

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
pH	2,0	6,0	2,0
Concentración	10,0	30,0	10,0
Temperatura	10,0	50,0	10,0

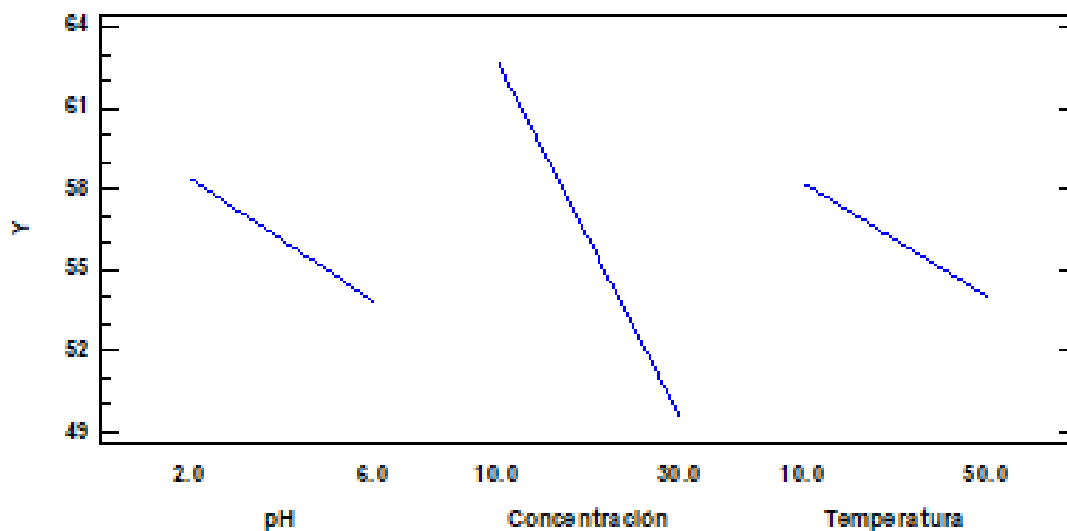
Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Y sobre la región indicada.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Y

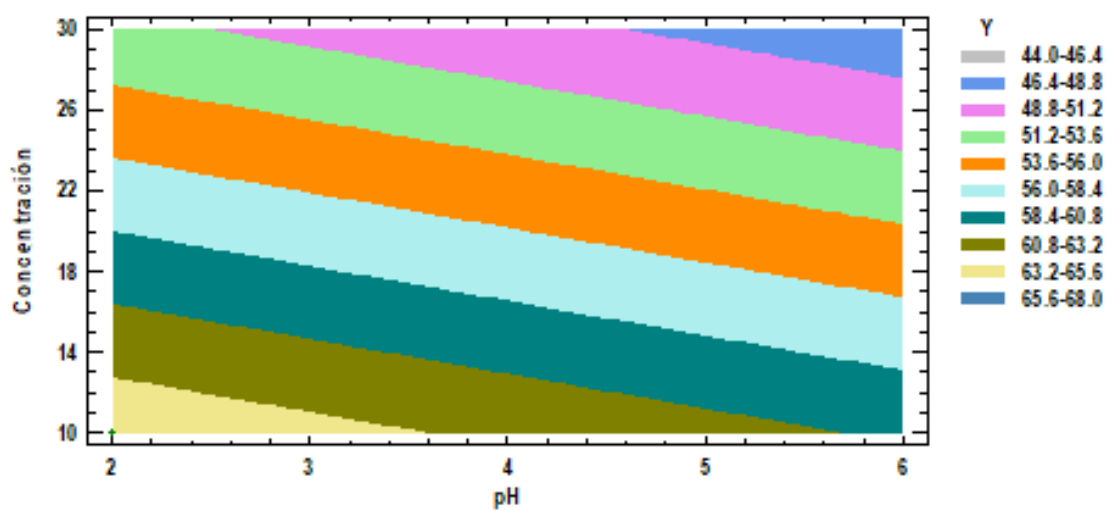


El diagrama de parapeto nos indica que la concentración de almidón, es la variable que más incide en la obtención de glucosa, seguido del pH, en cambio indica que la temperatura es una variable que no incide en el proceso.

Gráfica de Efectos Principales para Y



La gráfica de efectos principales nos indica que la variable concentración tiene un coeficiente de regresión lineal negativo y muy bueno, indica que a mayor concentración, se obtiene un mayor rendimiento de obtención de glucosa.

Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada
Temperatura=30.0

El gráfico de superficie respuesta demuestra que la concentración es la variable que incide de mejor manera para un mayor rendimiento de obtención de glucosa con un valor de 65,6 a 68,0.

ANEXO F

CÁLCULOS PARA EL VALOR DE K

➤ Valores de k para el almidón

Tiempo (minutos)	Concentración Inicial (g/L)	Concentración Final (g/L)	% DE Almidón	Valores de k
5	20	4,503	22,51	0,02200
10	20	4,612	24,06	0,02752
15	20	4,838	25,17	0,01933
20	20	4,947	25,93	0,01500
25	20	5,314	26,57	0,01235
30	20	5,404	27,02	0,01049
35	20	5,498	27,49	0,00918
40	20	5,508	27,54	0,00805

➤ Valores de k para la glucosa

Tiempo (minutos)	Concentración Inicial (g/L)	Concentración Final (g/L)	% de glucosa	Valores de k
5	2,5	1,107	44,28	0,11696
10	2,5	1,235	49,40	0,06812
15	2,5	1,260	54,40	0,05235
20	2,5	1,347	57,88	0,04323
25	2,5	1,485	60,40	0,03705
30	2,5	1,530	62,20	0,03243
35	2,5	1,572	63,88	0,02909
40	2,5	1,685	65,40	0,02653

ANEXO G

FOTOGRAFÍAS DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE OCA



Figura A₁. Oca, variedad Yurac Panti



Figura A₂. Peso de oca para



Figura A₃. Rallado de la oca



Figura A₄. Tamizado de la oca-malla 100



Figura A₅. Muestra de oca diluida con agua maría



Figura A₆. Calentando muestra a baño



Figura A7. Controlando el pH decantar



Figura A8. Muestra sedimentada para



Figura A9. Almidón obtenido



Figura A10. Almidón luego de ser secado



Figura A11. Peso de almidón