



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

CARRERA DE INGENIERIA EN ALIMENTOS

TEMA

**“EFECTO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDON DE MASHUA
(*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.) EN LAS CARACTERISTICAS FISICO-
QUIMICAS Y REOLOGICAS”**

Proyecto de Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previa la obtención del Título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia en Ingeniería en Alimentos.

Autor: Álvaro I. Yungán Pinda

Tutor: Ing. Araceli Pilamala

Ambato – Ecuador

2015

APROBACION DE LA TUTORA

En mi calidad de Tutora del Trabajo de Titulación “EFECTO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDON DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.) EN LAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y REOLOGICAS”, modalidad Proyecto de Investigación realizado por el Señor Álvaro Israel Yungán Pinda; considero que dicho Trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación de la Comisión Calificadora designada por el H. Consejo Directivo de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Ambato, 19 de Agosto del 2015

.....

Ing. Araceli Pilamala

TUTORA

AUTORIA

Los criterios emitidos en el Trabajo de titulación “EFECTO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDON DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.) EN LAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y REOLOGICAS”, como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de este Trabajo de Titulación.

Ambato, 19 de Agosto del 2015

.....
Álvaro Israel Yungán Pinda

CI: 060363478-3

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA EN ALIMENTOS

CARRERA DE INGENIERIA EN ALIMENTOS

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Trabajo de Graduación de acuerdo a os disponibilidades emitidas por la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Agosto del 2015

Para constancia firman:

.....

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A Dios, creador de todas las cosas por darme vida y sabiduría, por cuidarme en todo momento y permitirme el haber llegado hasta este momento importante de mi formación profesional.

A mis padres, Luis y María por ser para mí un ejemplo de constancia, humildad y dedicación, que con sabiduría han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir airoso en los momentos más difíciles.

A Elizabeth que más que mi hermana supo ser mi amiga que con sus palabras supo apoyarme en la realización de éste trabajo y por estar siempre junto a mí brindándome su cariño y contagiándome de su alegría.

A toda mi familia por su apoyo incondicional en mi formación profesional y por estar conmigo en todos los buenos y malos momentos de mi vida.

Israel

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios por su infinito amor y su gran misericordia, por haberme dado fuerza y valentía para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato, en especial a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, por brindar una educación de calidad y fomentar la preparación tanto personal como profesional.

A mi familia que con su ejemplo me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada, y con su amor me han enseñado cada día a ser una persona de bien.

A la Ing. Araceli Pilamala, Tutora del Trabajo de Investigación, gracias por su excelente asesoría y por compartir sus conocimientos, tiempo y su amistad.

A los estudiantes de Primero, Segundo, Sexto y Séptimo semestre, periodo académico Octubre 2014 – Marzo 2015 y Abril – Septiembre de 2015, que más que mis alumnos son mis amigos y me enseñaron a ser paciente, tolerante y sobre todo comprensivo

A mis amigos y amigas, por brindarme su amistad y compartir momentos inolvidables.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPITULO I EL PROBLEMA

1.1. Tema.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. General.....	4
1.3.2. Específicos.....	4

CAPITULO II MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes investigativos.....	5
2.2. Hipótesis.....	7
2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis.....	7

CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales.....	8
3.2. Métodos.....	9
3.3. Diseño experimental.....	14

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis y discusión de los resultados.....	16
4.1.1. Materia prima.....	16
4.1.2. Caracterización del almidón extraído por método físico.....	18
4.1.3. Caracterización del almidón extraído por método químico.....	26
4.2. Verificación de hipótesis.....	38

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	39
5.2. Recomendaciones.....	40

C. MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía	41
Anexos.....	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales e Insumos utilizados en la investigación	8
Tabla 2. Método de extracción física del almidón.....	15
Tabla 3. Método de extracción química del almidón.....	15
Tabla 4. Promedios de las características físico-químicas de la materia prima.....	17
Tabla 5. Características Físicas de los extractos de almidón de la mashua.....	18
Tabla 6. Características Químicas de los extractos de almidón de mashua	21
Tabla 7. Características Reológicas de los extractos de almidón de mashua	24
Tabla 8. Características Físicas de los extractos de almidón de mashua.....	27
Tabla 9. Características Químicas de los extractos de almidón de mashua	29
Tabla 10. Características Reológicas del almidón extraído por método químico	32
Tabla 11. Selección del mejor tratamiento según los dos métodos de extracción.....	35
Tabla 12 Características físico-químicas y reologicas de los mejores tratamientos.....	36

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma para la extracción física del almidón de mashua	11
Figura 2. Flujograma para la extracción química de almidón de mashua	12
Figura 3 Modulo elástico y viscoso en función de la tensión de la masa de almidón de mashua extraído por método químico (T3), medida acondicionada a 0.5%	36
Figura 4 Modulo elástico y viscoso en función de la tensión de la masa de almidón de mashua extraído por método físico (T7), medida acondicionada a 0.5%	37

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERIA EN ALIMENTOS

EFFECTO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDON DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.) EN LAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y REOLOGICAS

Autor: Álvaro Israel Yungán Pinda

Tutor: Ing. Araceli Pilamala

Fecha: Agosto 2015

RESUMEN

En el proceso de extracción física y química de almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.) se consideró el efecto del método de extracción, la temperatura de secado, y el tipo de modificación sobre las variables rendimiento, parámetros físico-químicos y reológicos en el producto obtenido. Con el propósito de evaluar el efecto de dichos procesos de extracción del almidón de la mashua, se probó el método físico a través del rallado y licuado, y el método químico mediante la aplicación de hidróxido de sodio y ácido cítrico. Los resultados del estudio sugieren que el proceso de extracción química aumentó el rendimiento en la extracción del almidón, mejorando notablemente las características físico-químicas y reológicas. Por su parte, los productos finales obtenidos a través de extracción química presentaron un aspecto de harina fina, características que son comparables a los almidones extraídos por métodos tradicionales como por ejemplo extracción por vía húmeda. El producto obtenido puede ser considerado como un almidón modificado, por lo cual puede ser aplicado industrialmente y formar parte de la matriz productiva como un aditivo alimentario en la elaboración de otros productos.

Palabras clave: tubérculo, mashua, almidón, reología.

ABSTRACT

In the physical and chemical processes of extraction of mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.) almidón considered the effect of the extraction method, the drying temperature, and the type of modification about the performance variables, physicochemical and rheological parameters in the obtained product. In order to evaluate the effect of those extraction processes of almidón of mashua, it was tested the physical method through the shredded and liquefied, and the chemical method by applying sodium hydroxide and citric acid. The results suggest that the process of chemical extraction increased performance in the extraction of almidón, dramatically improving the physicochemical and rheological properties. Meanwhile, the final products obtained through chemical extraction showed a fine flour aspect, characteristics which are comparable to almidón extracted by traditional methods such as wet extraction. The product obtained can be considered as a modified almidón, so it can be applied industrially productive part of the matrix as a food additive in the manufacture of other products.

Keywords: tuber, nasturtiums, starch, rheology.

INTRODUCCION

La mashua *Tropaeolum tuberosum*, es una especie de tubérculo, pertenece a la familia *Tropaeolaceae* y crece entre 2400 y 4300 m. altitud (Grau, 2003). Fue domesticado en los Andes, desde Venezuela hasta Argentina (Chirinos, 2008). *Tropaeolum tuberosum* "mashua" se encuentra en la cuarta posición en el ranking tubérculo nutricional después de la papa, oca y olluco (NRC, 1989). Por otra parte, varios estudios han informado de usos medicinales de la mashua con el fin de dar alivio a dolencias de riñón e hígado (Oblitas, 1969), eczema cutáneo (Pérez-Arbelaez, 1947), enfermedades de la próstata (Brack, 1999) y la diabetes (Rea, 1984), estas propiedades terapéuticas estaría relacionado con la presencia de antioxidantes fenólicos y estos a su vez debido al alto contenido de antocianinas (Chirinos, 2008).

Según Bello y Pérez (1999), el almidón puede constituirse como la principal fuente de reserva energética o de carbohidratos en los vegetales, se encuentra en diversas partes de las plantas y puede ser extraído de semillas, frutas, hojas, tubérculos y raíces, lo que permite que se utilice como materia prima para cambiar y mejorar la textura y consistencia de ciertos alimentos. Además la funcionalidad depende del peso molecular promedio y la organización molecular de la amilosa y la amilopectina, dentro del gránulo. Por otra parte, los almidones nativos debido a sus propiedades espesantes y gelificantes son utilizados para regular y estabilizar la textura de los alimentos; sin embargo, la estructura nativa del almidón al presentar baja resistencia al corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis, puede ser menos eficiente, por ende reducen su uso en otras aplicaciones industriales.

La modificación por métodos químicos, físicos y enzimáticos de la estructura nativa permite superar ciertas limitaciones, en su uso dando origen a numerosos derivados del almidón, los cuales pueden ser utilizados ampliamente en la industria alimentaria pudiendo llegar, a ser un factor predominante en el campo de los alimentos (Singh N., 2005; Singh J., 2007). El tipo de modificación más común aplicado, es la modificación química, y dentro de ésta el mecanismo más usado es la derivación vía éter o formación de éster, oxidación de grupos carbonilo, hidroxilo o grupo carboxilo y la hidrólisis de enlaces glucosídicos (Thomas, 1999).

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema

Efecto del método de extracción del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pav.) en las características físico-químicas y reológicas.

1.2. Justificación

Los Andes Tropicales son extensamente reconocidos como uno de los grandes centros mundiales de biodiversidad biológica y cultural. La riqueza de especies, el alto nivel de endemismo, el pasado y actual deterioro del medio ambiente, han sido considerados como criterios para clasificarlos como un punto focal de la biodiversidad (Rodríguez-Mahecha *et al.*, 2004; Churchill, 2009).

Ecuador, con tan solo 283.791 km² se halla en la zona tropical. Todo el país está atravesado por la cordillera de los Andes que junto con las condiciones ambientales, definen a lo largo del país una orografía y topografía muy marcadas y diferentes. Las varias culturas que se desarrollan en esta región Andina ecuatoriana, sobreviven en una gran diversidad de hábitats. Para ello, el *modus vivendi* de los habitantes son la agricultura, ganadería y producción artesanal. Cultivan una enorme diversidad de especies vegetales en varios pisos climáticos (De la Torre y Baslev, 2008), los cuales, son usados para el propio consumo y menor cantidad para la venta nacional.

Los principales productos de las áreas más altas incluyen a la papa (*Solanum tuberosum* L.), la oca (*Oxalis tuberosum* L.), la cebada (*Hordeum vulgare* L.), la cebolla (*Allium cepa* L.), el chocho (*Lupinus mutabilis* Lindl.), el melloco (*Ullucus tuberosus* Caldas), entre otros. De todos ellos, la especie de papa, *S. tuberosum*, es uno de los tubérculos alimentarios con mayor demanda (Solano *et al.*, 2011), y por ende, el más investigado

(Valdivia *et al.* 1999; Condori *et al.* 2007) y consumido a nivel mundial. No obstante, estudios descritos por Ramallo (2004), Jacobsen *et al.* (2003), Espinosa *et al.* (1996), Barrera *et al.* (2004) y Condori *et al.* (2007), manifiestan que otros tubérculos como la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.), la oca (*Oxalis tuberosum* L.) y el olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas), han sido poco estudiados y valorizados, sub-utilizados, escasamente consumidos y/o comercializados e inclusive son desconocidos en el ámbito internacional y aún en los mismos países andinos.

En Ecuador, de los tres cultivos de tubérculos citados anteriormente, la producción de mashua al no tener mucha demanda en los mercados, ha quedado supeditada para uso medicinal no obstante estudios manifiestan que la mashua sirve para curar la próstata y blenorragia (Altamirano, 1996; Espinosa *et al.* 1997), y es una de las menos difundidas de los Andes (CienciaHoy, 2001). La especie, perteneciente a la familia Tropaeolaceae, incluye 86 especies cultivadas desde México hasta toda Sudamérica (Sparre & Anderson, 1991), y al parecer es originaria de los Andes centrales. Es un cultivo de alta Sierra, por ello se distribuye también en Perú y Bolivia. En nuestro país, está representada por dos subespecies: *T. tuberosum* subsp. *silvestre* Sparre y *T. tuberosum* subsp. *Tuberosum*, Grau, A., Ortega Dueñas, R., Nieto Cabrera C., & Hernann, M. (2003).

La mashua es resistente a la helada y salinidad (Villacrés, 2013), puede ser cultivada en suelos pobres, sin uso de fertilizantes ni pesticidas, y por ende presenta un alto rendimiento con bajos insumos (Jacobsen *et al.* 2003). Posee varios componentes que son fuente importante de almidón y energía para la dieta, y proveen la estructura, textura y consistencia a los productos que se le incorporan. De acuerdo a Ramallo (2004), tienen un buen perfil de aminoácidos y ácidos grasos poliinsaturados (70,8%), lo que soporta aún más el interés de utilizar a la mashua como fuente alimentaria para el hombre y los animales. Otro componente son los isotiocianatos, conocidos por sus propiedades bactericidas, nematocidas, fungicidas como, Vapam, Vorles, y Mylone y repelentes de insectos, por lo que la mashua es sembrada en los bordes de las chacras campesinas (Villacrés, 2013). También el potencial rendimiento asociado al alto contenido de

glucosinolatos, ubica a la mashua en un lugar preferencial para su utilización en la agroindustria, así por ejemplo, para la elaboración de postres, helados, y obtención de harina (Cortez *et al.*, 1982).

Por otro lado, la investigación puede ser de gran impacto, no solamente para la provincia de Tungurahua, sino en todo el país, en vista que generará información respecto a las propiedades físico-químicas y reológicas del almidón de la mashua, y puede ser el inicio para futuros estudios y trabajos de investigación. Es factible realizarla por su baja inversión y su alta ganancia. El costo de la materia prima es muy asequible dependiendo de la temporada, a su vez la demanda del consumidor y el desarrollo en ciencia y tecnología de la alimentación han contribuido a extender y diversificar el uso de los aditivos alimentarios como el almidón, gracias a lo cual se puede disfrutar de alimentos sanos, asequibles y de alta calidad.

Bajo esta premisa, la presente investigación prevé aportar con la tecnología de extracción de almidón para la mashua, siendo el polímero natural y energético más importante para el ser humano y animales.

Históricamente los cultivos andinos forman parte de la dieta de sus poblaciones originarias por ser consideradas como alimentos de alta calidad, y tienen una gran potencialidad de transformación en productos procesados por su diversidad genética (Jacobsen *et al.* 2003), además tienen importancia en el ámbito agrícola y alimentario. Permite la recuperación de cultivos andinos en peligro de extinción, y la utilización de este tubérculo como materia prima y producto terminado. Para Hernández (2004), este paso debe ser más fácil considerando que la nueva Constitución establece que quienes somos parte del Ecuador decidimos construir “Una nueva forma de convivencia ciudadana, en diversidad y armonía con la naturaleza, para alcanzar el buen vivir, el *sumak kawsay*” (preámbulo de la constitución) (Constituyente, 2008). A partir de esto, se cuenta con herramientas políticas y de planificación que hacen referencia a este nuevo horizonte. El Plan Nacional del Buen vivir 2013 – 2017 menciona en su objetivo 5. Referido a construir espacios de encuentro común y fortalecer la identidad nacional, las

identidades diversas, la plurinacionalidad y la interculturalidad menciona que “Además de los bienes arqueológicos y monumentales y de las tradiciones intangibles, como la música y la cocina tradicional, la identidad nacional se nutre de nociones contemporáneas de patrimonio” (Senplades, 2014).

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Evaluar el efecto del método de extracción del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.) en las características físico-químicas y reológicas”

1.3.2. Específicos

- Caracterizar físico-químicamente la materia prima.
- Establecer métodos de obtención de almidón a partir de la mashua.
- Determinar las propiedades físico-químicas y reológicas el almidón obtenido.
- Seleccionar el mejor tratamiento en función del rendimiento y las características físico-químicas y reológicas.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes investigativos

Según Acero (2000), el almidón constituye una fuente de energía esencial para el hombre. Actualmente, su uso se ha extendido en la industria de alimentos como aditivo o materia prima en compuestos alimentarios, debido a sus características nutricionales, funcionales, propiedades como agente espesante y estabilizante de suspensiones y dispersiones. Considerando la abundancia en las plantas, el almidón ha sido la fuente primaria de energía en la dieta humana y ha acompañado la alimentación del hombre desde sus inicios (www.industriaalimenticia.com). El uso de almidones en los alimentos progresó con el surgimiento de la industria de alimentos procesados y la disponibilidad del almidón puro. Además sus características nutricionales y sus variadas aplicaciones en la industria alimentaria, lo convierten en el carbohidrato más importante, con una alta relevancia en el comercio (Cobana, 2007).

Las propiedades fisicoquímicas son las que determinan el uso del almidón, entre ellos se encuentra la composición proximal (contenido de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y humedad), las características del gránulo (tamaño, color y forma, naturaleza cristalina), el peso molecular y el contenido de amilosa (Hurtado, 1997). Cabe mencionar que en investigaciones realizadas reportan que el contenido de proteínas del almidón de yuca y de papa es bajo, cerca del 0.1%, comparado con el de los almidones de arroz y de maíz que tienen 0.45 y 0.35% respectivamente, a esto se suma que la proteína residual afecta el sabor y olor de los almidones de cereales y forma espuma. Los gránulos de almidón de papa y yuca contienen un pequeño porcentaje de lípidos, comparado con los almidones de cereales (maíz y arroz) los cuales contienen 0.6 y 0.8%

respectivamente. Esta composición favorece al almidón de yuca, ya que estos lípidos forman un complejo con la amilosa, lo cual tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos del almidón; por esta razón se necesitan temperaturas altas (> 125 °C) para romper la estructura amilosa-lípido y solubilizar la fracción de amilosa. La mayor parte de estos lípidos son liso-fosfolípidos; es decir una cadena de ácido graso esterificada con ácido fosfórico. La presencia de sustancias grasas puede crear problemas por la tendencia a la rancidez durante el almacenamiento (Hurtado, 1997).

Los almidones nativos presentan ciertas limitaciones para uso industrial. Por lo tanto, son modificados para mejorar sus propiedades funcionales consecuentemente, son productos con mayor valor agregado. Los gránulos de almidón son tratados química, física y bioquímicamente para causar la ruptura de algunas o todas las moléculas. La modificación del almidón permite realzar o inhibir propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH y temperatura y mejorar su gelificación, dispersión o fluidez. Las principales modificaciones son la degradación, la pre gelatinización y la derivatización (Vian, 1994).

Guerra *et al.* (2009), mencionan que en la última década se ha incrementado el aislamiento de almidones de fuentes vegetales no convencionales; la modificación química de estos almidones de fuentes no convencionales puede producir almidones con propiedades funcionales y fisicoquímicas mejores que no presentan los almidones comerciales o nativos. Guerra *et al.* (2009), modificó el almidón mediante acetilación y oxidación y evaluó la propiedades térmicas, de formación de pastas y reológicas, obteniendo como resultado que el almidón acetilado presentó un bajo grado de sustitución (0.04%), además presentó una menor temperatura y entalpía de gelatinización y un mayor pico de viscosidad en el perfil viscoamilográfico en comparación con el almidón oxidado y nativo. El almidón oxidado presentó el pico de viscosidad durante la etapa de enfriamiento y tanto el almidón nativo, acetilado y oxidado presentaron incrementos de viscosidad durante la etapa de enfriamiento, mostrando una conformación de gel. Los almidones nativo, acetilado y oxidado presentaron un comportamiento no newtoniano del tipo reofluidizante. La prueba

rotacional mostró que el almidón oxidado presentó un gel más firme que el almidón acetilado, lo cual coincide con los resultados viscoamilográficos.

Otro proceso de modificación según (Vian, 1994) es la pregelatinización, método térmico que ayuda a que los almidones pregelatinizados sean más útiles cuando se requiera que el producto pueda ser reconstituido en agua fría. La estructura del gránulo de almidón se rompe por cocción del almidón nativo y posterior secado en tambores rotatorios o por extrusión semiseca lo que permite su empleo en alimentos de preparación rápida, flanes, rellenos y salsas. En adhesivos se utiliza para laminar el papel aluminio a papel o cartón, pero su secado es lento dado su bajo contenido de sólidos.

En este orden de ideas y teniendo en cuenta la alta demanda que tienen en este momento las materias destinadas a la producción de almidón, como la yuca, la papa, entre otros, en la industria de biocombustibles, edulcorantes, textil, farmacéutica-cosmética, etc., la mashua se convierte en una fuente importante para la elaboración de almidones.

2.2. Hipótesis

H₀: el método de extracción no influye significativamente sobre las características físico-químicas y reológicas del almidón.

H₁: el método de extracción influye significativamente sobre las características físico-químicas y reológicas del almidón.

2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis

Variable Independiente

Métodos de extracción del almidón de mashua

Variable Dependiente

Características Físico-químicas y reológicas del almidón

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

En la Tabla 1. Se presentan los materiales y equipos utilizados durante las diferentes etapas del desarrollo de la investigación

Tabla 1. Materiales e Insumos utilizados en la investigación

ETAPA	MATERIALES
Caracterización de materia prima	Cápsulas de porcelana Crisoles Vasos de precipitación Pie de rey Probeta Balanza analítica pH-metro
Extracción de almidón	Balanza Peladora Cuchillos Baldes Licuadora industrial Lienzo Bandejas Túnel de secado Balanza analítica Fundas ziploc
Modificación y Caracterización de almidón extraído	Incubadora Estufa Mufla Desecador Balanza analítica Mortero y pistilo Cápsulas de porcelana Crisoles Varillas de agitación Termómetro Vasos de precipitación Bureta Soporte universal Matraz Tamices pH-metro Baño maría Centrifuga

3.2. Métodos

Para saber sobre el almidón de la mashua, se utilizó la mashua amarilla eco tipo 8767, conocida como “mashua zapallo”, la cual fue empleada por Villacrés E, (2002), se empleó el método modificado de extracción descrito por Alarcón & Dufour. (1998), que se detallan en la Figura 1 y 2.

Previo a la extracción de almidón se realizó un análisis físico-químico a la materia prima, en base a las siguientes determinaciones:

- **Humedad**, se realizó mediante el Método MAL-13
- **Cenizas**, se empleó el Método MAL-02
- **Potencial hidrogeno**, se determinó en base al ISI (1999).

Las características físicas que se examinaron en relación a la Norma INEN de la oca, por su gran parecido.

- **Determinación del peso**, se procedió a pesar el tubérculo en una balanza analítica, con una precisión de 0,1 g.
- **Determinación de volumen**, se utilizó el método de Inmersión en líquidos, basado en el principio de Arquímedes, en el cual se sumerge la mashua en cierta cantidad de agua, y se determina el volumen.
- **Determinación de Densidad**, se utilizó el método gravimétrico, en función de la siguiente expresión:

$$\rho: \frac{m (g)}{v (ml)}$$

Donde:

ρ = densidad (gr/ml)

m= Peso de la mashua (gr)

v=Volumen obtenido de la misma (ml)

- **Determinación del tamaño**, se lo realizó mediante la utilización del calibrador (pie de rey) de la siguiente manera:
 - **Diámetro longitudinal**, se tomó las distancias existentes entre los puntos extremos del eje axial.
 - **Diámetro ecuatorial**, se tomó las distancias existentes en la parte más ancha del tubérculo.
- **Grados de calidad de la mashua**: se determinó de acuerdo a los siguientes parámetros:
 - **Extra**: no tiene defectos, salvo las superficiales y leves.
 - **Primera**: defectos leves, cicatrización que no supere el 25% de la superficie, áreas raspadas que no superen el 20% de la superficie, 0% de unidades de nematodo, 0% de unidades cortadas la cabeza.
 - **Segunda**: cicatrización que no supere el 25% de la superficie, áreas raspadas que no superen el 30% de la superficie, 0% unidades de nematodos.

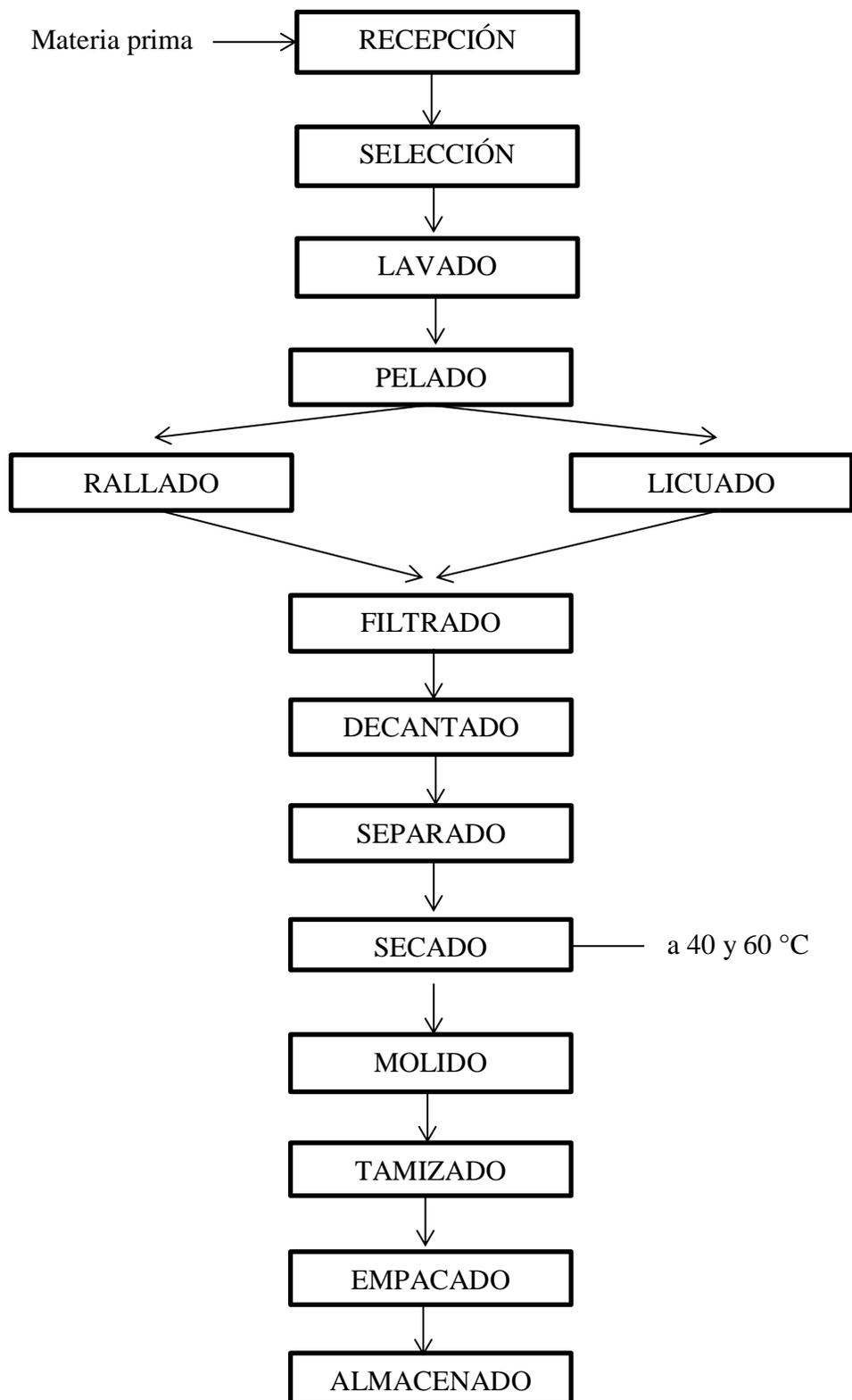


Figura 1. Flujograma para la extracción física del almidón de mashua

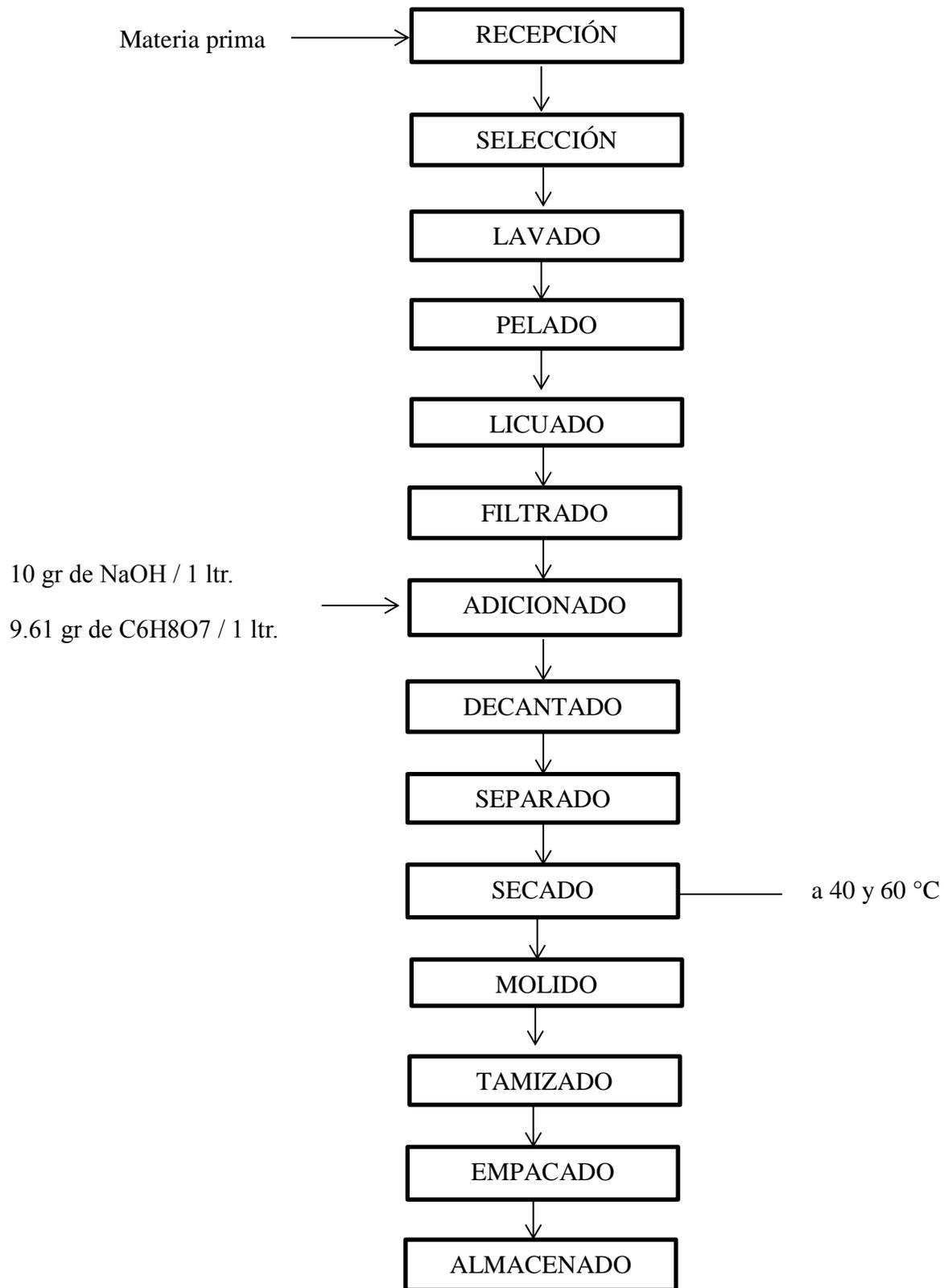


Figura 2. Flujograma para la extracción química de almidón de mashua

Posterior a la extracción del almidón nativo se realizó la modificación como uno de los factores de estudio, descrito a continuación:

Pregelatinización

Solución de almidón 1: 1 (75 g de almidón + 75 ml de agua desionizada) se incubó a 65 °C durante 5 min. Almidón gelatinizado fue producido por secado de la solución a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) durante 24 h (Knight, 1984).

Dextrinización

Un peso de 75 g de almidón se mezcla a fondo con 60 ml de HCL 0,1 N, y luego se seca a 50 °C durante 32 h a 5% de contenido de humedad. El almidón seco se disuelve en 75 ml de agua desionizada y el pH se ajusta a 7,0 mediante la adición de 8 ml de NaOH. El almidón se seca a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) durante 24 h (Caglarirmak y Cakmakli, 1993).

El almidón extraído y modificado se caracterizó físico-química y reológicamente, tal como se detalla a continuación:

Caracterización física (ver anexo A)

- **Materia seca**, la determinación se realizó mediante el método propuesto por (ICONTEC, 2002).
- **Claridad de pasta**, esta determinación se realizó de acuerdo a Craig (1989).

Caracterización química (ver anexo B)

- **Humedad**, se realizó de acuerdo a la NORMA NET INEN-ISO 712
- **Cenizas**, se realizó de acuerdo a lo descrito por la AOAC 923.03 (2000).

- **Pulpa (fibra)**, esta determinación se realizó de acuerdo a lo propuesto por Grace (1977).
- **Potencial de hidrogeno y Acidez**, se realizó de acuerdo a lo descrito en ISI, Determination of pH in starch and syrup, (1999).

Caracterización reológica (ver anexo C)

- **Temperatura de gelatinización**, se realizó de acuerdo a Grace (1977).
- **Índice de absorción de agua, Índice de solubilidad en agua y Poder de hinchamiento** se realizó de acuerdo a Anderson (1969)
- **Viscosidad por Reómetro (módulo de almacenamiento, índice de tixotropía, esfuerzo de influencia, módulo elástico y viscoso)**, la determinación se realizó siguiendo el método propuesto, UOITA-FCIAL, (2015).

El procedimiento para la extracción del almidón de la mashua se llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos-Universidad Técnica de Ambato, con el apoyo de la Unidad Operativa de Investigación en Tecnología de Alimentos (UOITA).

Las respuestas experimentales obtenidas en este trabajo fueron expuestas a un análisis estadístico según lo recomendado por Saltos, (1993) utilizando los programas STATGRAPHIC e INFOSTAT; además se utilizó un paquete de Microsoft Office como Word y Excel, que en conjunto facilitaron el proceso de análisis e interpretación de los resultados en forma exacta y concisa con la presentación de diferentes tablas, resúmenes y gráficos, mismos que argumentaron las explicaciones de los resultados finales.

3.3. Diseño experimental

Dos métodos de extracción se ensayaron, aplicando un diseño experimental de 2^3 con los siguientes factores y niveles, para un total de 8 tratamientos con 2 réplicas, para cada método de extracción. (Ver tabla 2 y 3)

El diseño experimental presentado, se aplicó como se describe en los diagramas de flujo (Ver figura 1 y 2).

A continuación se detalla el diseño experimental aplicado, en el proyecto de investigación.

Tabla 2. Método de extracción física del almidón

FACTOR A: Método físico de extracción	FACTOR B: Temperatura de secado	FACTOR C: Tipo de modificación del almidón
a ₀ : Rallado	b ₀ : 40 °C	c ₀ : Pregelatinizado
a ₁ : Licuado	b ₁ : 60 °C	c ₁ : Dextrinación

Tabla 3. Método de extracción química del almidón

FACTOR A: Método químico de extracción	FACTOR B: Temperatura de secado	FACTOR C: Tipo de modificación del almidón
a ₀ : con NaOH 0,25 N	b ₀ : 40 °C	c ₀ : Pregelatinizado
a ₁ : con Ácido cítrico 0.05M	b ₁ : 60 °C	c ₁ : Dextrinación

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis y discusión de los resultados

Para la presente investigación se utilizó mashua amarilla eco tipo 8767, conocida como “mashua zapallo”, proveniente de las zonas altas de la Provincia de Tungurahua, específicamente de la parroquia Quisapincha, misma que se adquirió en el Mercado Mayorista de la Ciudad de Ambato.

A continuación se presenta los análisis físicos y químicos realizados con la materia prima.

4.1.1. Materia prima

Las posibilidades de fomentar el uso y consumo de las Raíces y Tubérculos Andinos va a depender en gran medida del conocimiento que se disponga sobre sus principales componentes químicos y de las características físicas, nutricionales y funcionales que se atribuyen para orientar sus posibles usos y aplicaciones, Barrera, *et, al.*,(2003). De acuerdo a esto se realizó la caracterización física y química de la mashua siguiendo el procedimiento indicado en la metodología. A continuación se detalla en la Tabla 1, los resultados promedios de los análisis físicos y químicos que se realizó para esta investigación.

Tabla 4. Promedios de las características físico-químicas de la materia prima

Parámetro	Mashua²	Unidades
Humedad	87,7 ± 1,3	%
Cenizas	0,7 ± 0,1	%
pH	6,5 ± 0,1	--
Peso	38,4 ± 17,8	gr
Longitud	9,0 ± 2,2	cm
Diámetro	3,1 ± 0,4	cm
Volumen	39,8 ± 17,8	ml
Densidad	1,0 ± 0,1	gr/cm ³
Calidad	Primera	--

*El resultado es el promedio de 2 replicas

Elaborado por: Álvaro Israel Yungán P. (2015)

4.1.1.1. Características físicas de la materia prima

Luego del respectivo análisis estadístico, los datos evidencian que el peso promedio de la mashua es 38,4 g, y se encuentra dentro e incluso superior del valor referencial de 36,3 g reportado por Samaniego (2010), además muestra un peso mínimo de 13,8 g y un peso máximo de 91,5 g. Con respecto al diámetro ecuatorial de la mashua se tiene una media de 3,1 cm con un límite inferior de 2,1 cm y un límite superior de 3,9 cm, tomados en la parte más ancha del tubérculo, de igual manera los resultados del diámetro longitudinal de la mashua indican una media de 9.0 cm con un límite inferior de 5,1 cm y un límite superior de 15,8 cm, tomadas desde el ápice del tubérculo.

4.1.1.2. Características químicas de la materia prima

En las características químicas, la mashua muestra una humedad inicial de 87,7 %, valor que se encuentra dentro del valor referencial de 88.7 % reportado por INIAP (1999), este valor de humedad inicial varía en cada tipo de RTAs, dependiendo de la zona donde es cultivada y cosechada. El tubérculo contiene 0,7% de cenizas, que indica la cantidad de materia orgánica presente en el tubérculo, dato inferior a lo reportado por INIAP (1999), que es de 4,8%, demostrando así que la cantidad de minerales en la muestra son bajos y por lo tanto se podría decir que la materia prima fue limpiada de manera correcta antes de iniciar el proceso. El pH de la mashua fue de 6,5, corroborando

con el dato de 6,2 reportado por Samaniego (2010). Finalmente en la caracterización de la materia prima se realizó el cálculo de la densidad, obteniendo un resultado de 1 g/cm³, resultados que son comparables con datos experimentales.

4.1.2. Caracterización del almidón extraído por método físico

El método físico de extracción de almidón se realizó siguiendo la metodología propuesta anteriormente, cuyos resultados promedios de propiedades físicas del almidón como: rendimiento, materia seca y transmitancia, se evidencian en la Tabla 5.

Tabla 5. Características Físicas de los extractos de almidón de la mashua

Tratamiento	Rendimiento (%)	Materia Seca (%)	Transmitancia (%)
a₀b₀c₀	2,6 ± 0,0 ^a	89,6 ± 0,4 ^f	21,3 ± 4,1 ^e
a₀b₀c₁	2,9 ± 0,0 ^c	89,9 ± 0,1 ^b	48,8 ± 4,0 ^b
a₀b₁c₀	2,7 ± 0,0 ^b	88,3 ± 0,4 ^c	6,9 ± 0,9 ^c
a₀b₁c₁	3,5 ± 0,0 ^f	89,2 ± 0,1 ^f	52,6 ± 18,5 ^f
a₁b₀c₀	3,3 ± 0,0 ^e	87,6 ± 0,2 ^e	23,8 ± 19,2 ^e
a₁b₀c₁	3,1 ± 0,0 ^d	89,4 ± 0,4 ^d	31,7 ± 0,4 ^d
a₁b₁c₀	3,7 ± 0,0 ^g	87,5 ± 0,2 ^a	15,1 ± 4,7 ^a
a₁b₁c₁	3,0 ± 0,0 ^d	88,8 ± 0,0 ^f	24,1 ± 0,4 ^e

a₀: rallado; a₁: licuado; b₀: 40°C; b₁: 60°C; c₀: Pregelatinizado; c₁: Dextrinizado

*El resultado es el promedio de 2 replicas

Elaborado por: Álvaro Israel Yungán P. (2015)

Para el rendimiento, los datos evidencian que el tratamiento con mayor promedio fue el a₁b₁c₀ (3,7 %), y el tratamiento con menor promedio fue el a₀b₀c₀ (2,6%). Con (p≤0,05) se demostró que existe diferencia significativa sobre estos resultados al aplicar los niveles del factor A (Tipo de extracción) y B (Temperatura de secado), al igual que el efecto combinado de los factores A (Tipo de extracción) y C (Tipo de modificación), sobre el rendimiento de los extractos.

Estas diferencias podrían atribuirse al método de extracción empleado, ya que el mayor promedio se obtuvo al aplicar el licuado en la extracción y el menor promedio al aplicar

rallado, y se puede decir que el licuado aumenta el rendimiento ya que separa y rompe los gránulos de almidón y el rallado ayuda a liberar los gránulos de almidón contenidos en las células de la raíz sin ruptura y con el secado los gránulos se deshidratan y presentan menor peso. Otro factor importante implícito podría ser la variedad del tubérculo, el contenido intrínseco de almidón de la especie, el tamaño de tubérculo o raíz y el tamaño de los gránulos de almidón; esta última característica parece haber influido notablemente en el rendimiento por los métodos de extracción anteriormente explicados, contribuyendo a ello los gránulos de mayor tamaño, cabe mencionar que los resultados se encuentran dentro del porcentaje de rendimiento reportado por Villacres & Espín (1999) de 4,6 % de almidón de mashua.

Por otro lado, la materia seca se apoyó en la metodología descrita por ICONTEC (2002), y los resultados promedios se evidencian en la Tabla 5, observando que el tratamiento que registró mayor promedio fue el $a_0b_0c_1$ (89,9 %) y el que mostró menor promedio fue el $a_1b_1c_0$ (87,5 %), con ($p \leq 0,05$), se demostró que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (Tipo de extracción), B (Temperatura de secado) y C (Tipo de modificación), al igual que el efecto combinado de los factores, sobre el contenido de materia seca de los extractos de almidón. Esto se podría relacionar con el tipo de extracción ya que almidones extraídos por licuado, presentan gránulos de almidón más pequeños y por ende temperaturas bajas y tiempo corto de secado, lo contrario sucede con los almidones extraídos por rallado que presentan gránulos de mayor tamaño y necesitan mayor temperatura y mayor tiempo de secado. ICONTEC (2002) menciona al respecto que almidones con contenido de materia seca mayores al 90% indican severas condiciones de secado durante la extracción y almidones con contenido de materia seca inferiores al 87% podrían indicar una contaminación con hongos y otro tipo de microorganismos, por lo tanto el contenido idóneo de materia seca debe estar entre 87-90%, y los datos experimentales obtenidos se encuentran dentro de este rango referencial, por lo tanto las temperaturas de secado aplicadas fueron idóneas.

En la Tabla 5, se evidencian los promedios de porcentaje de transmitancia de pasta obtenidos siguiendo la metodología propuesta por Craig *et al.* (1989), mostrando que el

tratamiento con mayor promedio fue el $a_0b_1c_1$ (52,6 %), y el tratamiento con menor promedio fue el $a_0b_1c_0$ (6,9 %), esta notable diferencia en los promedios se verifica con ($p \leq 0,05$), existiendo diferencia significativa al aplicar los niveles del factor C (Tipo de modificación) al igual que el efecto combinado de los factores A (Tipo de extracción) y C (Tipo de modificación).

Se observa que el tipo de modificación aplicada fue determinante sobre la calidad del almidón, ya que el grado de transparencia de las pastas podría estar directamente relacionado con el estado de dispersión de los solutos y con la tendencia a la retrogradación de los almidones, y los almidones con valores de transmitancia mayores de 40% se consideran como almidones claros, y según Craig *et al.*, (1989) el valor varía entre 12,5-95% de transmitancia.

Los resultados obtenidos evidencian que están dentro del valor referencial, reflejando que el mayor porcentaje de claridad se obtiene al dextrinizar el almidón, ya que el proceso de dextrinización sobrecalienta el almidón seco, en presencia de un ácido y esto hace que aumenten los fragmentos del polímero con longitud de cadena variable (conversión baja), luego ocurre la recombinación de estos fragmentos (repolimerización) y la formación de ramificaciones, y finalmente estas nuevas estructuras son clasificadas como dextrinas blancas, Croghan & Mason (1998), dando un alto porcentaje de transmitancia.

Tabla 6. Características Químicas de los extractos de almidón de mashua

Tratamiento	Humedad (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	pH	Acidez (meq de H ₂ SO ₄ /g de almidón)
a₀b₀c₀	10,4 ± 0,4 ^e	0,5 ± 0,1 ^e	0,3 ± 0,1 ^e	7,4 ± 0,4 ^f	0,6 ± 0,1 ^e
a₀b₀c₁	10,1 ± 0,1 ^b	0,3 ± 0,0 ^b	0,3 ± 0,1 ^b	5,7 ± 0,2 ^b	0,5 ± 0,1 ^b
a₀b₁c₀	11,7 ± 0,4 ^c	0,3 ± 0,1 ^c	0,2 ± 0,1 ^c	7,0 ± 0,3 ^c	0,7 ± 0,2 ^c
a₀b₁c₁	10,8 ± 0,1 ^e	0,4 ± 0,1 ^e	0,1 ± 0,0 ^e	5,9 ± 0,2 ^e	0,6 ± 0,1 ^e
a₁b₀c₀	12,4 ± 0,2 ^f	0,4 ± 0,1 ^e	0,2 ± 0,0 ^e	7,1 ± 0,1 ^f	0,6 ± 0,1 ^e
a₁b₀c₁	10,6 ± 0,4 ^d	0,3 ± 0,0 ^d	0,2 ± 0,0 ^d	5,7 ± 0,0 ^d	0,6 ± 0,1 ^d
a₁b₁c₀	12,5 ± 0,2 ^a	0,6 ± 0,1 ^a	0,3 ± 0,0 ^a	6,7 ± 0,1 ^a	0,7 ± 0,1 ^a
a₁b₁c₁	11,3 ± 0,0 ^e	0,5 ± 0,3 ^e	0,2 ± 0,0 ^e	6,3 ± 0,1 ^e	0,7 ± 0,1 ^e

a₀: rallado; a₁: licuado; b₀: 40°C; b₁: 60°C; c₀: Pregelatinizado; c₁: Dextrinizado

*El resultado es el promedio de 2 replicas

Elaborado por: Álvaro Israel Yungán P. (2015)

En la Tabla 6, se muestran los promedios de humedad, obtenidos siguiendo la metodología descrita por NTE INEN 0518, de los extractos de almidón, evidenciando que el tratamiento que registra mayor promedio fue el a₁b₁c₀ (12,5 %), y el tratamiento con menor promedio fue el a₀b₀c₁ (10,2 %), esto se corrobora con (p≤0,05), demostrando que existió diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (Tipo de extracción), B (Temperatura de secado) y C (Tipo de modificación), al igual que el efecto combinado de los factores, sobre el porcentaje de humedad, es decir que todos los factores influyeron sobre el contenido de humedad, empezando por la extracción, por lo que se menciona que los almidones extraídos por licuado pudieron haber absorbido mayor cantidad de agua por el mismo hecho de que los gránulos estaban mayormente rotos a diferencia de los almidones extraídos por rallado donde los gránulos de almidón pueden estar más completos estructuralmente, por lo tanto la absorción de humedad podría ser menor. En cuanto a la temperatura de secado, a una mayor temperatura de secado durante la extracción, el tiempo debe ser menor debido a que a una temperatura elevada y por tiempos prolongados se podría afectar al contenido de materia seca y por lo tanto a la calidad final del almidón, por esta razón el contenido de humedad es mayor; lo contrario sucede a una temperatura baja que podría dejarse secar por más tiempo sin que afecte al contenido de materia seca y por ende el contenido de humedad es baja, y finalmente que los almidones modificados mediante dextrinización por la

repolimerización y formación de ramificaciones no permitiría que entre humedad en el granulo de almidón. Cabe indicar que los datos obtenidos son comparables con la información reportada en la literatura para almidón de yuca que varía entre 5 a 13% (Alarcon y Dufour, 1998; Hoover, 2001; Sangeetha, 2006) y para almidón de papa por ejemplo esta entre 7 a 13% (Hoover, 2001; Sangeetha, 2006).

En cuanto al contenido de cenizas se realizó la caracterización del almidón siguiendo la metodología propuesta por AOAC (2000), obteniendo así que el tratamiento con mayor promedio de porcentaje de cenizas fue el $a_1b_1c_0$ (0,6 %) y el tratamiento con menor promedio fue el $a_0b_0c_1$ (0,3 %) (ver tabla 6). Esto se comprueba mediante el análisis de varianza que particiona la variabilidad de CENIZAS en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un ($p \leq 0,05$), indicando que son significativamente diferentes de cero. Y los datos obtenidos superan a lo reportado por AOAC (2000), que indica que el contenido de cenizas en el almidón no debe exceder de 0,12%, esto pudo a ver ocurrido por no realizar un buen lavado y desinfección de la materia prima antes de sus procesamiento para la extracción y esas impurezas pudieron a ver afectado al contenido de cenizas en el almidón.

El contenido de pulpa se realizó siguiendo la metodología propuesta por Grace (1997), cuyos promedios de contenido de pulpa en los extractos de almidón se registran en la Tabla 6. Los datos muestran que el tratamiento con mayor porcentaje de fibra fue el $a_1b_1c_0$ (0,3 %), y el tratamiento que registra menor promedio fue el $a_0b_1c_1$ (0,2 %), y al realizar el análisis de varianza para los valores de porcentaje de fibra, con ($p \leq 0,05$), muestra que existe diferencia significativa al aplicar el efecto combinado de los factores A (Tipo de extracción) y B (Temperatura de secado) sobre el contenido de fibra en los extractos, estas diferencias podrían atribuirse al método de extracción ya que el rallado podría a ver afectado al contenido de fibra en vista que con este método se separa los gránulos de almidón que podrían contener fibra aún y con el licuado de igual manera al no controlar la velocidad y la fuerza del método, se pudo a ver pasado cantidades

considerables de fibra. A pesar de ello los resultados experimentales están dentro del rango referencial de 0,3 % como máximo indicado por Grace (1997), además menciona que un almidón de buena calidad no debe exceder de ese valor.

El pH de los extractos fue analizado basándose en el procedimiento propuesto por ISI (1999), cuyos promedios se evidencian en la Tabla 6, mostrando que el tratamiento con mayor promedio de pH fue el $a_0b_0c_0$ (7,4), y el tratamiento con menor promedio de pH fue el $a_1b_0c_1$ (5,7), y con ($p \leq 0,05$), se demostró que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor C (Tipo de modificación) al igual que el efecto combinado de los factores B (Temperatura de secado) y C (Tipo de modificación), sobre el pH de los extractos. Los promedios presentan valores coherentes ya que el almidón extraído con NaOH presenta un pH básico y el almidón extraído con $C_6H_8O_7$ evidencia un pH ácido los cuales podría decirse que no se volatilizaron durante el secado del almidón, otro factor fue la dextrinización (con ácido) que pudo afectar el pH final del almidón. A pesar de ello los datos experimentales están dentro del rango referencial indicado por Cai y Corke, (2000) quienes mencionan que la determinación del pH tiene gran importancia ya que los valores de pH inferiores de 5 o mayores de 7 tienden a reducir la temperatura de gelatinización y acelerar el proceso de cocción.

En la Tabla 6, se indican los datos promedios de acidez obtenidos, siguiendo la metodología expuesta por ISI (1999), consiguientemente se muestra que el tratamiento $a_1b_1c_0$ (0,7 meq de ác. Sulfúrico/g de almidón) muestra mayor promedio y el tratamiento con menor promedio es el $a_0b_0c_1$ (0,5 meq de ác. Sulfúrico/g de almidón), con ($p \geq 0,05$), se demuestra que no existe diferencia significativa al aplicar los factores A, B y C, sobre el porcentaje de acidez para los extractos de almidón.

Tabla 7. Características Reológicas de los extractos de almidón de mashua

Tratamiento	Temperatura de Gelatinización (°C)	IAA (%)	ISA (%)	Poder de Hinchamiento (%)
a₀b₀c₀	60 ± 1,4 ^e	4,3 ± 0,7 ^e	2,5 ± 0,7 ^e	4,4 ± 0,7 ^e
a₀b₀c₁	61 ± 1,4 ^b	7,6 ± 0,1 ^b	2,8 ± 0,7 ^b	7,6 ± 0,0 ^b
a₀b₁c₀	62 ± 1,4 ^c	5,3 ± 1,6 ^c	11,8 ± 0,4 ^c	5,5 ± 1,8 ^c
a₀b₁c₁	59,5 ± 2,1 ^e	9,3 ± 1,2 ^e	6,1 ± 0,9 ^e	9,4 ± 0,9 ^f
a₁b₀c₀	61 ± 2,8 ^e	5,0 ± 0,2 ^e	3,0 ± 0,0 ^e	5,0 ± 0,2 ^e
a₁b₀c₁	59 ± 1,4 ^d	8,5 ± 0,0 ^d	6,6 ± 0,3 ^d	8,6 ± 0,3 ^d
a₁b₁c₀	61 ± 1,4 ^a	4,8 ± 0,7 ^a	8,9 ± 1,0 ^a	4,8 ± 0,6 ^a
a₁b₁c₁	59 ± 1,4 ^e	8,4 ± 0,4 ^e	6,2 ± 0,3 ^e	8,5 ± 0,2 ^f

a₀: rallado; a₁: licuado; b₀: 40°C; b₁: 60°C; c₀: Pregelatinizado; c₁: Dextrinizado

*El resultado es el promedio de 2 replicas

Elaborado por: Álvaro Israel Yungán P. (2015)

La determinación de temperatura de gelatinización se basó en la metodología propuesta por Grace (1977), cuyos resultados de promedios se evidencian en la Tabla 7, reflejando que el tratamiento con mayor promedio de temperatura de gelatinización es el a₀b₁c₀ (62 °C) y los tratamientos con menor promedio son a₁b₀c₁ (59 °C) y a₁b₁c₁ (59 °C), con un (p≥0,05), se demostró que no existe diferencia significativa al aplicar los niveles de los 3 factores de estudio. Con estos resultados obtenidos se podría proponer la utilización de este almidón en productos que no requieran temperaturas elevadas, tales como caramelos tipo chiclosos o natillas, pudines, entre otros (Hernández, Torruco, Chel & Betancur, 2008). Al comparar estos valores experimentales obtenidos para el almidón de mashua con otros tubérculos, se observa que son inferiores a los rangos obtenidos para otros almidones; para almidón nativo de papa se han reportado temperaturas de gelatinización de 66 °C y entre 56 y 67 °C, para almidones de yuca se han encontrado temperaturas de 62 °C y entre 58 y 65 °C (Lindeboom, Chang & Tyler, 2004). Además se puede decir que una temperatura de gelatinización en almidones nativos refleja una mayor estabilidad interna del gránulo de almidón, normalmente asociada a una mayor presencia de zonas semicristalinas y un mayor contenido de amilosa Imberty, *et al.* (1988). De igual forma puede relacionarse con un menor tamaño de los gránulos de

almidón que permite una menor penetración del agua a su interior y, por tanto, menores temperaturas de gelatinización (Miranda & Rada-Mendoza, 2008).

En la Tabla 7, también se muestran los datos de Índice de absorción de Agua promedios, obtenidos siguiendo la metodología expuesta por Anderson *et al.* (1969), exponiendo que el tratamiento con mayor índice de absorción de agua es el $a_0b_1c_1$ (9,3 g gel/g muestra) y el tratamiento que evidencia menor promedio es el $a_0b_0c_0$ (4,3 g gel/g muestra), con ($p \leq 0,05$), se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor C (Tipo de modificación). Es decir el almidón dextrinizado presentó el mayor promedio, ya que como se mencionaba anteriormente la dextrinización involucra un sobrecalentamiento del almidón seco en presencia de un ácido y por ende aumenta los fragmentos del polímero con longitud de cadena variable, luego involucra la repolimerización y la formación de ramificaciones los cuales son capaces de absorber más agua. Cabe mencionar que almidones de buena calidad con alto contenido de almidón y alta viscosidad de la pasta, tendrán una alta absorción de agua, por lo contrario una baja absorción de agua indica que el almidón es de baja calidad, el cual al enfriarse produce pastas delgadas y de poca estabilidad y el valor referencial de índice de absorción de agua está entre 0,82 y 15,52 g gel/g muestra (Anderson *et al.*, 1969), y los datos experimentales muestran que están dentro del rango referencial.

El Índice de Solubilidad en Agua (ISA) se estableció siguiendo la metodología explicada por Anderson *et al.* (1969), cuyos promedios se evidencian en la Tabla 7. Mostrando que el tratamiento con mayor valor promedio de índice de solubilidad en agua es el $a_0b_1c_0$ (11,8 %), y el tratamiento con el menor promedio es el $a_0b_0c_0$ (2,5 %), con ($p \leq 0,05$), se muestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor B (Temperatura de secado) y C (Tipo de modificación), al igual que el efecto combinado de los factores, sobre el Índice de Solubilidad de Agua de los extractos.

Con estos resultados se puede decir que existe una posibilidad de que la amilopectina presente en las moléculas de almidón y un menor tamaño del granulo facilitarían la entrada de agua a los espacios intermoleculares, aumentando la solubilidad, siendo la

amilopectina la de mayor proporción de disolución; esto desde luego, incidirá en el aumento de solubilidad de las moléculas en el agua y en la estabilidad de la viscosidad Hwang & Kokini, (1992). Los datos experimentales muestran que están dentro del rango referencial del índice de solubilidad en agua entre 0,27 - 12,32 %. Cabe mencionar que almidones de buena calidad presenta un bajo índice de solubilidad en agua.

La determinación de Poder de Hinchamiento se realizó siguiendo la metodología descrita por Anderson *et al.*, (1969) cuyos resultados se evidencian en la Tabla 7, cuyo tratamiento que presenta mayor promedio fue el $a_0b_1c_1$ (9,4 %), y el tratamiento con menor promedio fue el $a_0b_0c_0$ (4,4 %), con ($p \leq 0,05$), se demuestra, que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor C (Tipo de modificación), ya que un poder de hinchamiento alto muestra que el almidón es de buena calidad, un contenido alto en almidón y alta viscosidad de pasta, y esto se vio afectado por el método de modificación aplicado al almidón, ya que la dextrinización ayuda a que los gránulos puedan absorber más cantidad de agua; por lo contrario, si presenta un poder de hinchamiento bajo, indicará que ese almidón es de baja calidad, por lo tanto generará pastas delgadas y de poca estabilidad, por lo tanto los valores de poder de hinchamiento oscilan entre 0,79 y 15,45 %. Al respecto Adebowale, *et.al.* (2002) menciona que el poder de hinchamiento está relacionado con la unión asociativa dentro del gránulo de almidón, y aparentemente la fuerza y carácter de la red micelar está relacionada con el contenido de amilosa en el gránulo de almidón; un contenido bajo de amilosa produciría alto poder de hinchamiento.

4.1.3. Caracterización del almidón extraído por método químico

La extracción del almidón de mashua mediante el método químico se ha realizado siguiendo la metodología explicada anteriormente y el diseño planteado para esta investigación, y los resultados de Rendimiento, Materia seca y Transmitancia se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Características Físicas de los extractos de almidón de mashua

Tratamiento	Rendimiento (%)	Materia Seca (%)	Transmitancia (%)
a₀b₀c₀	5,0 ± 0,0 ^b	90,2 ± 0,1 ^c	12,9 ± 0,5 ^a
a₀b₀c₁	5,1 ± 0,0 ^b	87,5 ± 0,3 ^a	15,2 ± 1,6 ^a
a₀b₁c₀	5,2 ± 0,0 ^c	87,4 ± 0,3 ^a	16,9 ± 2,0 ^a
a₀b₁c₁	5,0 ± 0,0 ^b	89,5 ± 0,1 ^{bc}	14,7 ± 1,3 ^a
a₁b₀c₀	4,3 ± 0,0 ^a	89,5 ± 0,3 ^{bc}	12,5 ± 1,6 ^a
a₁b₀c₁	4,4 ± 0,0 ^a	89,4 ± 0,0 ^b	11,1 ± 3,0 ^a
a₁b₁c₀	4,3 ± 0,0 ^a	90,2 ± 0,1 ^c	9,7 ± 1,1 ^a
a₁b₁c₁	4,3 ± 0,0 ^a	87,6 ± 0,0 ^a	11,3 ± 1,8 ^a

a₀: rallado; a₁: licuado; b₀: 40°C; b₁: 60°C; c₀: Pregelatinizado; c₁: Dextrinizado

*El resultado es el promedio de 2 replicas

Elaborado por: Álvaro Israel Yungán P. (2015)

Los datos de rendimiento demuestran que el tratamiento con mayor promedio fue el a₀b₁c₀ (5,2 %), y los tratamiento con menor promedio fueron los a₁b₀c₀ (4,3 %), a₁b₁c₀ (4,3 %) y a₁b₁c₁ (4,3 %) y con (p≤0,05), se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (tipo de extracción) y el efecto combinado de los factores B (Temperatura de secado) y C (Tipo de modificación) sobre el rendimiento de los extractos, se puede observar que se alcanza mayor rendimiento al aplicar hidróxido de sodio (NaOH) al 0,5% durante la extracción, es decir que el NaOH puede actuar como catalizador sobre la estructura del almidón, y favorecer la disposición de los grupos hidroxilos que más adelante ayudara a una efectiva modificación del almidón con ácidos orgánicos (Heinze *et al.*, 2006) al respecto Fang & *col.*, (2004) encontraron que bajo condiciones óptimas en un sistema acuoso alcalino, una porción de almidón puede modificarse homogéneamente con ácidos orgánicos clorados y pueden ser aplicados a todo tipo de almidones, y todo esto se podría relacionar con el rendimiento ya que los grupos hidroxilo al formar enlaces con el hidrogeno y el carbono, estarían permitiendo que durante la sedimentación los gránulos de almidón se unan de forma más rápida y se sedimenten. Además los datos evidencian que todos los tratamientos expuestos a NaOH durante la extracción presentan mayor rendimiento incluso superando el valor referencial de 4,61% citado por Villacrés & Espín (1999), a diferencia de las muestras que fueron sometidas a una solución de ácido cítrico (C₆H₈O₇) durante la extracción.

Con respecto a los promedios de materia seca (ver tabla 8), que fue realizada siguiendo la metodología planteada por ICONTEC (2002), se puede observar que el tratamiento con mayor promedio fue el $a_1b_1c_0$ (90,2 %), y el tratamiento que presenta menor promedio fue el $a_0b_1c_0$ (87,4 %), con ($p \geq 0,05$), se demuestra que no existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (Tipo de extracción), B (Temperatura de secado) y C (Tipo de modificación), sobre el contenido de materia seca de los extractos, ya que la diferencia de contenido de materia seca al aplicar los dos tipos de extracción no es mucha, el menor promedio registrado está dentro del valor referencial de 87-90% pero el mayor promedio supera el dato bibliográfico por 0,18% esto pudo ocurrir tal vez porque se dejó secar mucho tiempo a una temperatura de 60 °C y sucedió lo que ICONTEC (2002) menciona, explicando almidones con contenido de materia seca superiores a 90% indican severas condiciones de secado durante la extracción.

Otra de las propiedades físicas ensayadas en el almidón fue la transmitancia, cuyos promedios se evidencian en la Tabla 8, mostrando el mayor promedio de transmitancia en el tratamiento $a_0b_1c_0$ (16,9 %), y el menor promedio en el tratamiento $a_1b_1c_0$ (9,7 %), valores que se encuentran dentro del valor referencial mencionado por Craig *et al.*, (1989) valor que varía entre 12,5 – 95 % de transmitancia, y con ($p \leq 0,05$), se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (Tipo de extracción) sobre el porcentaje de claridad de pasta de los extractos de almidón. Obteniendo mayor porcentaje en el almidón extraído con NaOH entendiendo que la transmitancia se relaciona con la tendencia a la retrogradación en el almidón, que es un proceso que ocurre cuando las moléculas en los gránulos de almidón gelatinizados durante la extracción comienzan a reasociarse en una estructura ordenada Atwell (1988), cambiando el comportamiento reológico de las pastas, siendo evidente el incremento en su firmeza y rigidez. Además se menciona que la retrogradación es un fenómeno complejo que depende de factores como la fuente y la concentración de almidón, la temperatura de cocción y enfriamiento y la presencia de solutos, relacionando estos factores con el tipo de extracción aplicado.

Tabla 9. Características Químicas de los extractos de almidón de mashua

Tratamiento	Humedad (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	pH	Acidez (meq de H ₂ SO ₄ /g de almidón)
a₀b₀c₀	9,8 ± 0,1 ^a	0,2 ± 0,0 ^a	0,3 ± 0,1 ^a	8,6 ± 0,2 ^c	0,6 ± 0,0 ^a
a₀b₀c₁	12,5 ± 0,3 ^c	0,4 ± 0,0 ^b	0,3 ± 0,0 ^a	8,8 ± 0,2 ^c	0,9 ± 0,0 ^{bc}
a₀b₁c₀	12,6 ± 0,3 ^c	0,9 ± 0,1 ^f	0,3 ± 0,0 ^a	8,8 ± 0,0 ^c	0,8 ± 0,1 ^{abc}
a₀b₁c₁	10,5 ± 0,1 ^{ab}	0,5 ± 0,1 ^{bc}	0,3 ± 0,0 ^a	8,6 ± 0,0 ^c	0,6 ± 0,1 ^{ab}
a₁b₀c₀	10,5 ± 0,3 ^{ab}	0,7 ± 0,0 ^{de}	0,3 ± 0,0 ^a	6,1 ± 0,1 ^a	0,9 ± 0,0 ^c
a₁b₀c₁	10,6 ± 0,0 ^b	0,5 ± 0,0 ^{bc}	0,2 ± 0,0 ^a	6,8 ± 0,0 ^b	0,7 ± 0,0 ^{abc}
a₁b₁c₀	9,8 ± 0,1 ^a	0,6 ± 0,0 ^{cd}	0,3 ± 0,0 ^a	6,3 ± 0,1 ^{ab}	0,7 ± 0,0 ^{abc}
a₁b₁c₁	12,4 ± 0,0 ^c	0,8 ± 0,0 ^e	0,3 ± 0,0 ^a	6,7 ± 0,2 ^b	0,6 ± 0,1 ^{ab}

a₀: rallado; a₁: licuado; b₀: 40°C; b₁: 60°C; c₀: Pregelatinizado; c₁: Dextrinizado

*El resultado es el promedio de 2 replicas

Elaborado por: Álvaro Israel Yungán P. (2015)

En la Tabla 9, se evidencian los datos promedios de la caracterización de humedad, que se basó en la metodología descrita por NTE INEN 0518, mostrando que el mayor promedio lo presenta el tratamiento a₀b₁c₀ (12,6 %), y el tratamiento que presenta menor promedio es el a₁b₁c₀ (9,8 %). Promedios que están acorde con la información reportada en la literatura para almidón que varía entre 5 a 13% (Alarcon y Dufour, 1998; Hoover, 2001; Sangeetha, 2006), con (p≥0,05), se demuestra que no existe diferencia significativa al aplicar los niveles de los factores, sobre el porcentaje de humedad de los extractos. La razón es que el almidón se secó hasta obtener una humedad inferior al 13% para que no exista enmohecimiento durante su almacenamiento.

El contenido de cenizas se realizó siguiendo la metodología propuesta por la AOAC (2000), y permitió estimar la pureza del almidón extraído a nivel de laboratorio, indicando que el almidón presenta mayor contenido de cenizas como consecuencia de la mayor concentración de este componente en la raíz entera y probablemente por la gran cantidad de impurezas (tierra), los datos promedios se muestran en la Tabla 9, evidenciando que el mayor promedio lo presenta el tratamiento a₀b₁c₀ (0,9 %) mientras que el tratamiento con menor promedio es el a₀b₀c₀ (0,2 %), valores que superan a lo

reportado por AOAC (2000), que indica que el contenido de cenizas en el almidón no debe exceder de 0,12% con ($p \leq 0,05$) se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor B (Temperatura de secado), y el efecto combinado de los factores, sobre el contenido de cenizas de los extractos. Se puede decir que este contenido de cenizas se debe a que tal vez durante la extracción no se realizó un buen lavado de la materia prima, ya que el lavado y pelado se realizó al mismo tiempo en una peladora y la forma del tubérculo y sus hendiduras no permitieron pelar y lavar de forma completa ya que al final esto afectaría al rendimiento. Pero se observa que afectó al contenido de cenizas por el hecho de que pudo haber quedado residuos de tierra en las hendiduras del tubérculo y esto aumento al contenido de cenizas en el producto final.

Por otra parte el contenido de pulpa se realizó siguiendo la técnica propuesta por Grace (1997) cuyos promedios se registran en la Tabla 9, mostrando que el mayor promedio se obtiene con el tratamiento $a_0b_1c_1$ (0,3 %), y el tratamiento que registra menor promedio es el $a_1b_0c_1$ (0,2 %), y con ($p \leq 0,05$) se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor B (Temperatura de secado) y C (Tipo de modificación), al igual que el efecto combinado de los factores A (Tipos de extracción) y C (Tipo de modificación); B (Temperatura de secado) y C (Tipo de modificación), sobre el contenido de fibra en los extractos, esto se podría justificar correlacionándolo con lo anteriormente dicho en el contenido de cenizas, que al no realizar un buen pelado y lavado de la materia prima, y como la cascara del tubérculo contiene fibra, pudo haber afectado al contenido de fibra en el producto final. Pero a pesar de ello los valores experimentales se encuentran dentro del rango referencial de 0,3% como máximo, reportado por Grace (1997).

El pH es uno de los parámetros que fue realizado siguiendo la metodología propuesta por ISI (1999), y los resultados se muestran en la Tabla 9, registrando que el tratamiento con mayor promedio de pH fue el $a_0b_0c_1$ (8,8) y el tratamiento con menor promedio es el $a_1b_0c_0$ (6,1), y con ($p \leq 0,05$), se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (Tipo de extracción), C (Tipo de modificación) al igual que el efecto combinado de los factores, sobre el pH de los extractos. Los promedios presentan

coherencia ya que los almidones extraídos con NaOH muestran un pH básico y lo contrario, los almidones extraídos con C₆H₈O₇ muestran un pH ácido, que al compararlos con la bibliografía indicado por Cai y Corke (2000) con valores de 5-7, se puede ver que solo el almidón extraído con C₆H₈O₇ está dentro del rango referencial, aclarando que la determinación del pH tiene gran importancia ya que los valores de pH inferiores de 5 o mayores de 7 tienden a reducir la temperatura de gelatinización y acelerar el proceso de cocción, es el caso del almidón extraído con NaOH.

En cuanto a la acidez, es el parámetro que también se basó en la metodología propuesta por ISI (1999), los promedios se muestran en la Tabla 9, evidenciando que el mayor promedio en acidez lo presenta el tratamiento el a₁b₀c₀ (0,9 meq de ác. Sulfúrico/g de almidón), y el tratamiento con menor promedio es el, a₁b₁c₁ (0,6 meq de ác. Sulfúrico/g de almidón), con ($p \geq 0,05$), se demuestra que no existe diferencia significativa al aplicar los factores A, B y C, sobre el porcentaje de acidez para los extractos de almidón. Los datos experimentales sobrepasan los datos bibliográficos de 0,002 - 0,005 meq de ácido sulfúrico/g de almidón. Esto puede ser el resultado de que al no realizar un buen pelado de la materia prima, en la cascara a más de la fibra y cenizas pudo haber transferido compuestos como el isotiocianato que le da ese sabor picante y amargo a la mashua, además como en la extracción, con el ácido se acelera la sedimentación, todo los compuestos anteriormente mencionados se sedimentan y con el secado tal vez no se logró volatilizarlos totalmente.

Tabla 10. Características Reológicas del almidón extraído por método químico

Tratamiento	Temperatura de Gelatinización (°C)	IAA (%)	ISA (%)	Poder de Hinchamiento (%)
a₀b₀c₀	59,5 ± 0,7 ^{ab}	7,2 ± 0,1 ^{bc}	3,4 ± 0,3 ^a	7,2 ± 0,2 ^b
a₀b₀c₁	60,5 ± 0,7 ^{ab}	7,6 ± 0,2 ^c	2,2 ± 0,1 ^a	7,6 ± 0,2 ^b
a₀b₁c₀	60,0 ± 2,8 ^{ab}	6,5 ± 0,3 ^{ab}	2,6 ± 0,5 ^a	6,6 ± 0,2 ^{ab}
a₀b₁c₁	60,5 ± 0,7 ^{ab}	5,8 ± 0,1 ^a	8,5 ± 0,1 ^c	5,9 ± 0,1 ^a
a₁b₀c₀	60,5 ± 0,7 ^{ab}	13,4 ± 0,2 ^e	6,4 ± 0,3 ^b	13,8 ± 0,6 ^d
a₁b₀c₁	58,0 ± 1,4 ^a	9,4 ± 0,5 ^d	6,8 ± 0,1 ^{bc}	9,6 ± 0,2 ^c
a₁b₁c₀	61,5 ± 0,7 ^{ab}	13,7 ± 0,0 ^e	7,4 ± 0,3 ^{bc}	13,9 ± 0,5 ^d
a₁b₁c₁	63,5 ± 0,7 ^b	9,4 ± 0,2 ^d	7,3 ± 0,9 ^{bc}	9,5 ± 0,1 ^c

a₀: rallado; a₁: licuado; b₀: 40°C; b₁: 60°C; c₀: Pregelatinizado; c₁: Dextrinizado

*El resultado es el promedio de 2 replicas

Elaborado por: Álvaro Israel Yungán P. (2015)

En la Tabla 10, se evidencian los promedios de Temperatura de gelatinización obtenidos siguiendo la metodología propuesta por Grace (1997), mostrando así el promedio más alto en el tratamiento a₁b₁c₁ (63,5 °C) y el menor promedio en el tratamiento a₁b₀c₁ (58 °C) y con (p≤0,05) se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor B (Temperatura de secado) sobre la temperatura de gelatinización de los extractos de almidón. Las temperaturas de gelatinización obtenidas se encuentran dentro del rango referencial de 57.5-70 °C expuesto por Villacrés (2008) quien además menciona que cada almidón tiene un diferente grado de cristalización y por lo tanto se hincha y se gelatiniza en distintas condiciones de temperatura, asimismo se pierde la birrefringencia produciéndose el máximo hinchamiento de los gránulos. Este parámetro fue analizado ya que el almidón nativo (AN) es insoluble en agua, y solo forma una suspensión temporal de grandes partículas, que no se disuelven en el medio que las rodea y se depositan en el fondo a menos que se agite, lo cual supone un cambio mínimo del almidón. Y con el calentamiento se produce la incorporación de agua en el granulo, empezando en las áreas menos densas y posteriormente en las regiones más cristalinas de la molécula de almidón. Este proceso llamado gelatinización es responsable del espesamiento en los sistemas alimenticios, además el almidón gelatinizado es opaco y frágil y su estructura cristalina ordenada se pierde. Todo esto se podría relacionar con el

tipo de extracción ya que los promedios presentados anteriormente resultaron de la extracción del almidón en medio ácido y la temperatura de secado de 60°C aplicado conjuntamente con el ácido cítrico sobre el almidón, pudo haber provocado una hidrólisis durante el secado dando lugar a la formación de dextrinas o polímeros de cadena corta, bibliográficamente se comenta que el ácido fragmenta la molécula de almidón y el resultado es una pasta caliente menos espesa y un producto frío menos firme, y la hidrólisis de la molécula de almidón también da a lugar a una menor absorción de agua por el granulo de almidón y a pesar de la gelatinización se puede decir que en este caso el tiempo fue mayor por la razón ya explicada.

Por otra lado, el Índice de Absorción de Agua (IAA) se analizó siguiendo la metodología expuesta por Anderson *et al.*,(1969), cuyos promedios se muestran en la Tabla 10, obteniendo un mayor promedio de IAA en el tratamiento $a_1b_1c_0$ (13,68 g gel/g muestra) y el tratamiento con el menor promedio es el $a_0b_1c_1$ (5,78 g gel/g muestra), y con ($p \leq 0,05$) se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (Tipo de extracción), B (Temperatura de secado) y C (Tipo de modificación), al igual que el efecto combinado de los factores, sobre el índice de absorción de agua de los extractos. Estas diferencias en los valores promedios puede atribuirse con la fuente biológica, con el tamaño y la forma del gránulo, Lindeboom, Chang & Tyler, (2004), además tiene gran influencia el tipo de extracción en medio ácido mediante el cual se hidroliza la molécula del almidón, la temperatura de secado de 60 °C y la modificación por Pregelatinización, estos factores interaccionan sobre las cadenas del almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas, también se pudo haber sido la relación amilosa/amilopectina sus características en términos de peso/distribución, grado y longitud de ramificación y conformación. Y como consecuencia de todo lo anterior incrementan la absorción de agua. Lo cual es idóneo ya que según Anderson *et al.*,(1969) menciona que un almidón de buen calidad debe tener alta absorción de agua con valores referenciales de 0.82-15.52 g gel/g muestra. Y los resultados experimentales obtenidos se encuentran dentro de este rango.

Índice de solubilidad en agua (ISA) fue caracterizado del almidón mediante la metodología propuesta por Anderson *et al.*, (1969), cuyos promedios se evidencian en la Tabla 10, registrando que el tratamiento con mayor promedio fue el $a_0b_1c_1$ (8,5 %) y el tratamiento con el menor promedio fue el $a_0b_0c_1$ (2,2 %) que con ($p \leq 0,05$) se demuestra que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (Tipo de extracción) y B (Temperatura de secado), al igual que el efecto combinado de los factores, sobre el índice de solubilidad de agua de los extractos. Al igual que en el parámetro de IAA el tipo de extracción influyó significativamente sobre el contenido de ISA pero en esta caso la extracción en medio alcalino ayudo a que el ISA disminuya ya que en medio alcalino las moléculas de almidón no se hidrolizan por tanto mantienen su estructura y cumpla con lo mencionado por Anderson *et al.*, (1969) quien dice, que un almidón de buena calidad debe tener una baja solubilidad con valores de referencia de 0.27-12.32%, y todos los valores promedios obtenidos experimentalmente, están dentro del rango.

Siguiendo la metodología propuesta por Anderson *et al.*, (1969) se pudo analizar el poder de hinchamiento (PH) de los extractos de almidón, cuyos resultados promedios se presentan en la Tabla 10, mostrando como mayor promedio en el tratamiento $a_1b_1c_0$ (13,9 %), y el menor promedio lo presento el tratamiento $a_0b_1c_1$ (5,9 %), consiguientemente con ($p \geq 0,05$) se pudo demostrar que existe diferencia significativa al aplicar los niveles del factor A (Tipo de extracción), B (Temperatura de secado y C (Tipo de modificación), así también el efecto combinado de los factores, sobre el porcentaje de poder de hinchamiento de los extractos, los valores promedios obtenidos son comparables con datos bibliográficos reportados por Anderson *et al.*, (1969), valores de 0.79-15.45%, además menciona que un almidón de buena calidad debe presentar un alto poder de hinchamiento, ya que es una propiedad de su contenido de amilopectina, siendo la amilosa un diluyente e inhibidor de hinchamiento, según Cheng *et al.*, (1996) debido a lo anterior se puede decir que el almidón extraído en medio alcalino presentó mayor poder de hinchamiento, debido a que se correlaciona con el ISA, por lo tanto la no hidrolización de las moléculas de almidón ayuda a que el poder de hinchamiento sea mayor.

Con los resultados obtenidos se da a conocer los mejores tratamientos tanto para el método físico como para el método químico en función de las características físico-químicas, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Selección del mejor tratamiento según los dos métodos de extracción

		Tratamiento Método.	$a_0b_0c_0$	$a_0b_0c_1$	$a_0b_1c_0$	$a_0b_1c_1$	$a_1b_0c_0$	$a_1b_0c_1$	$a_1b_1c_0$	$a_1b_1c_1$
CARACTERISTICAS FISICAS	RENDIMIENTO	M.F.								
		M.Q.								
	MATERIA SECA	M.F.								
		M.Q.								
	TRANSMITANCIA	M.F.								
		M.Q.								
CARACTERISTICAS QUIMICAS	HUMEDAD	M.F.								
		M.Q.								
	CENIZAS	M.F.								
		M.Q.								
	PULPA	M.F.								
		M.Q.								
	pH	M.F.								
		M.Q.								
ACIDEZ	M.F.									
	M.Q.									
CARACTERISTICAS REOLOGICAS	TEMPERATURA DE GELATINIZACION	M.F.								
		M.Q.								
	IAA	M.F.								
		M.Q.								
	ISA	M.F.								
		M.Q.								
	PODER DE HINCHAMIENTO	M.F.								
		M.Q.								

M.F.: Método Físico; M.Q.: Método Químico

Elaborado por: Álvaro Israel Yungán P. 2015

En la Tabla 12, se muestran los datos de la caracterización de los almidones extraídos tanto por el método físico, como por el método químico, evidenciando que los valores experimentales están dentro del rango bibliográfico; pero el almidón B presenta mejores

resultados en comparación al almidón A, corroborando estos datos mediante el análisis reológico presentados en las Figuras 3 y 4.

Tabla 12 Características físico-químicas y reológicas de los mejores tratamientos

Parámetro	Almidón A	Almidón B	Dato bibliográfico
Rendimiento %	3,7 ± 0,0	5,2 ± 0,0	4,6
Materia seca %	87,5 ± 0,2	87,4 ± 0,3	87-90
Transmitancia %	15,1 ± 4,7	16,9 ± 2,0	12,5-95
Humedad %	12,5 ± 0,2	12,6 ± 0,3	5-13
Fibra %	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	máx. 0,3
pH	6,7 ± 0,1	7,0 ± 0,1	5-7
Temperatura de gelatinización °C	61,0 ± 1,4	60,0 ± 2,8	58-65
IAA g gel/g muestra	4,8 ± 0,7	6,5 ± 0,3	0,8-15,5
ISA %	8,9 ± 1,0	2,6 ± 0,5	0,3-12,3
Poder de Hinchamiento %	4,8 ± 0,6	6,6 ± 0,2	0,8-15,5

Almidón A: almidón extraído por método físico; **Almidón B:** almidón extraído por método químico

*El resultado es el promedio de 2 replicas

Elaborado por: Álvaro Israel Yungán P. (2015)

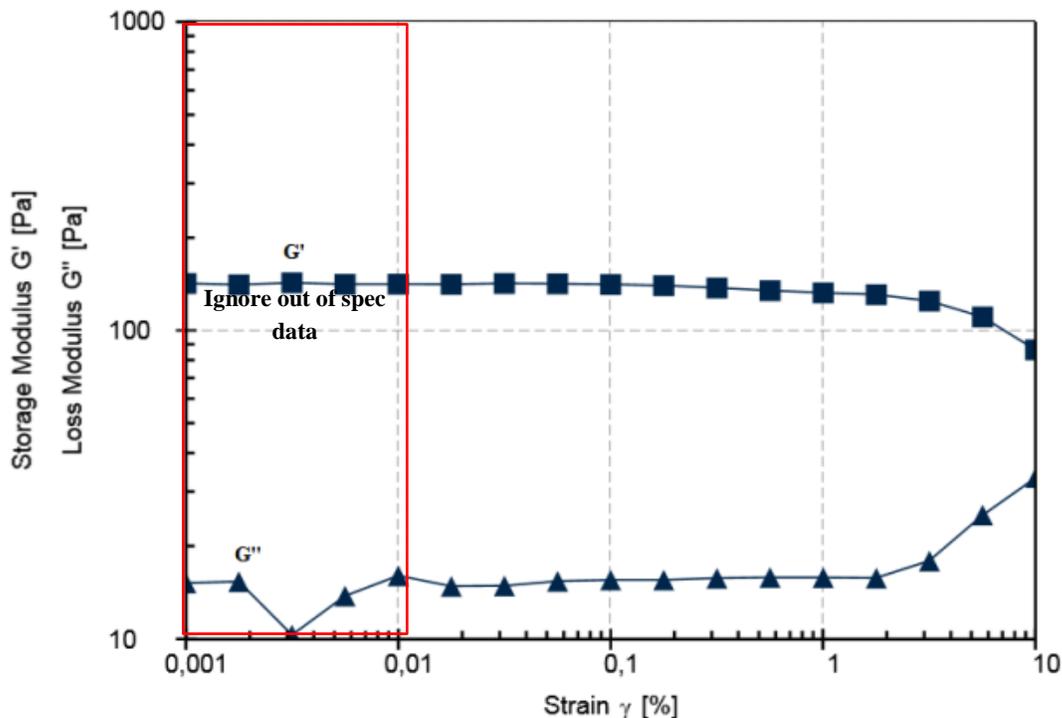


Figura 3 Modulo elástico y viscoso en función de la tensión de la masa de almidón de mashua extraído por método químico (T3), medida acondicionada a 0.5%

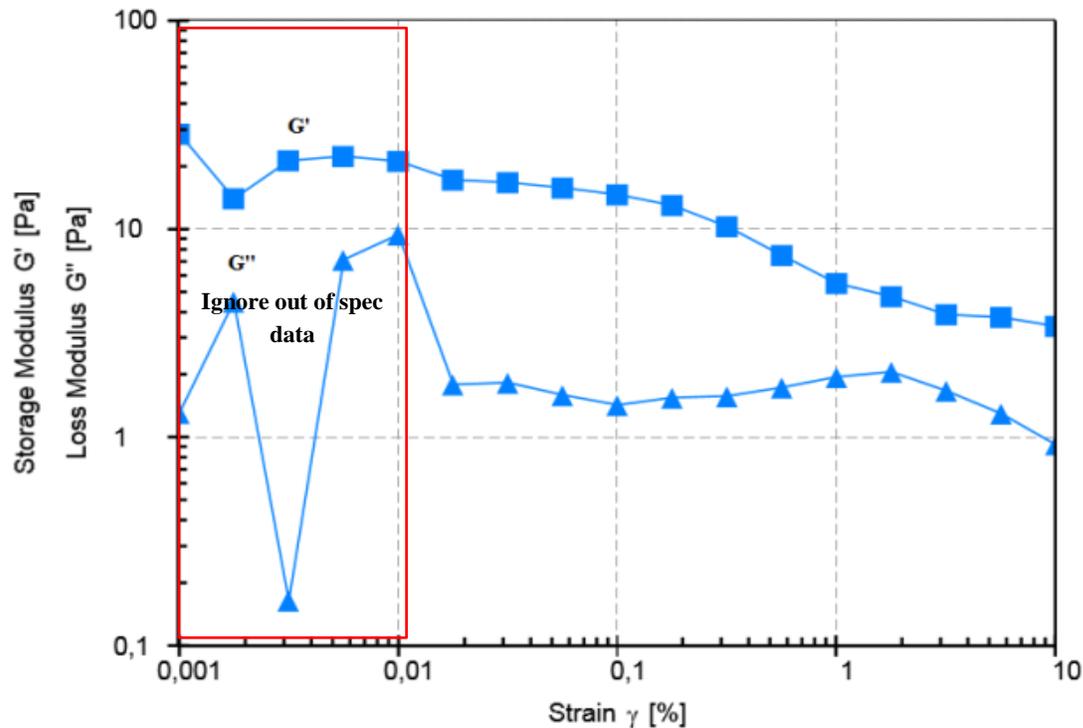


Figura 4 Modulo elástico y viscoso en función de la tensión de la masa de almidón de mashua extraído por método físico (T7), medida acondicionada a 0.5%

La Figura 3, muestra el comportamiento del almidón de mashua extraído por el método químico, frente a una tensión o esfuerzo, pudiendo deducirse que este almidón presenta un comportamiento Newtoniano, además se puede observar que muestra mayor estabilidad frente al esfuerzo aplicado, demostrando valores constantes, es decir este almidón puede añadirse a productos que necesiten mayor gelificación y mayor tiempo de almacenamiento, a diferencia del almidón extraído por el método físico (ver figura 4), que presenta mayor inestabilidad frente al esfuerzo aplicado, además es muy líquido y a mayor esfuerzo pierde su estructura de gel y por lo tanto su viscosidad disminuye, y este almidón no sería recomendable utilizarlo en productos que necesiten estabilidad y mayor tiempo de almacenamiento, como explicación de las gráficas los primeros datos son despreciables ya que se encuentran en la zona de incertidumbre, el cual se ve afectada por la temperatura de iniciación del análisis, condiciones del rotor, condición de la muestra etc.

4.2. Verificación de hipótesis

En base a todo lo mencionado y con un ($P \leq 0,05$) se determinó una diferencia significativa, por lo que se acepta la hipótesis alternativa, es decir que el método de extracción aplicado (Método químico con NaOH: con C6O8H7), temperatura de secado (40°C: 60°C) y tipo de modificación (Pregelatinizado: Dextrinizado) influye significativamente sobre el rendimiento y las características físico-químicas y reológicas de los extractos de almidón.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La materia prima empleada en este trabajo fue la mashua variedad zapallo en estado fresco, la cual presentó gran influencia en el aislamiento del almidón, los resultados del análisis físico-químico reflejaron valores comparables con datos bibliográficos encontrándose dentro de los rangos referenciales citados en la literatura, lo cual hace que sea idóneo para este estudio.

Se estableció que los métodos de obtención de almidón más apropiados, tomando en cuenta parámetros como características de la materia prima y el rendimiento fueron el método físico (rallado-licuado), y el método químico (con NaOH y $C_6H_8O_7$) como los métodos más aceptables para aplicarlos en este estudio.

Se realizó la caracterización físico-química los almidones obtenidos, por medio de los cuales se estableció que éste almidón pueda ser utilizado en la industria alimentaria, por su alto rendimiento (5.24 %), bajo contenido de humedad (12.6 %) y su bajo ISA (2.61 %), además el análisis reológico evidenció el comportamiento de la pasta del almidón frente a un esfuerzo, indicando la estabilidad y la utilización de este almidón como aditivo o materia prima en la elaboración de otros productos alimenticios.

El mayor rendimiento y las mejores características físico-químicas y reológicas se alcanzaron al aplicar el método químico (con Hidróxido de sodio) en la obtención del almidón, ya que presentó características físico-químicas comparables con almidones extraídos por métodos convencionales y el comportamiento reológico evidenció mayor estabilidad ante un esfuerzo y mayor viscosidad por mayor tiempo,

5.2. Recomendaciones

Efectuar un análisis proximal de la materia prima, para proponer otros usos en la industria alimentaria y no limitarla solo a la extracción de almidón.

Evaluar métodos de extracción enzimáticos y extracción vía seca utilizando como materia prima la mashua.

Ampliar el estudio reológico del almidón tomando en cuenta parámetros como la concentración, temperatura, tamaño de granulo y tipo de extracción.

Tomar en cuenta otras características diferentes al rendimiento, físico-químicas y reológicas para establecer la idoneidad del almidón como aditivo alimentario en la industria alimentaria.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía

- Acero, P. (2000). *Cultivos (Cereales, Leguminosas y Oleaginosas)*. Primera Edición, Bogotá, Colombia: UNAD.
- Adebawale, K. O. Afolabi, T. A., y Lawal, O. S. (2002) Isolation, chemical modification and physicochemical characterization of bambarra groundnut (*Voandseia subterranean*) starch and flour. *Food Chem* 2002;78:305-311.
- Alarcón, E. & Dufour, D. (1998) *Almidón agrio de yuca en Colombia. Producción y recomendaciones*. Tomo I. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD). Cali, Colombia. Pp 9-24
- Altamirano, A. R., (1996). Estudio de la variación morfológica e izoenzimática de 78 entradas de mashua. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Anderson, R., C. H., (1969). Gelatinization of Corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*,14, 4-12.
- AOAC., (2000). Ash of flour. *Association of Analytical Chemists International (AOAC)*. 7 ed. MD.
- Atwell, W. A. Hood, L. F. Lineback, D. R. Varriano-Marston, y E. Zobel, H. F. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World*, 33 (3), 306-311
- Barrera, H., Tapia, G., Monteros, A., (2004). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina.
- Bello-Pérez, L. C.-R.-M.-F.-A. (1999). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho). *Agrociencia*, 169-180.
- Brack, A. (1999). *Diccionario enciclopédico de plantas útiles del Perú*. Lima, Perú: Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas.

- Cai Y. Z. y Corke H. (2000) Production and properties of spray dried *Amaranthus* betacyanin pigments. *J. Food Sci.* 65(6): 1248-125
- Caglarirmak N. Cakmakli U. (1993) Gida 2, 131 – 137 (cited by: Karaoglu, M.M., Kotancilar, H.G. Celik, I. (2001). *Effects of utilization of modified starches on the cake quality.* *Starch* 53, 161 – 169).
- Chirinos R.. D. C. (2008). Phenolic Profiles of Andean mashua (*Tropaeolum tuberosum* Rui and Pavon) tubers: Identification by HPLC-DAD and evaluation of their antioxidant activity. *Food Chemistry* 106, 1285-1298.
- Churchill, S. P., (2009). *Moss Diversity and endemism of tropical Andes.* *Annals of the Missouri Botanical Garden* 96: 434-449
- Cienciahoy (2001). Las especies tuberosas andinas, encontrado en: <http://www.cienciahoy.org/hoy42/ahipa3.htm>
- Cobana, M. (2007). Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca. *Lasallista de Investigación*, 78-84
- Condori, P., Fernandez-Northcote, E. N., Franco, J., Calderon, R., Gonzales, S. (2007). Determinación de los factores limitantes de la producción y uso de las RTA's (Sanidad vegetal). En Informe anual 1993-94 IBTA-PROINPA. Cochabamba, Bolivia. Pp. IX36-IX49
- Constituyente. A. N. (2008). *Constitución del Ecuador.* Montecristi.
- Cortez, H. Deza, F. Jimenez, S. (1982). Obtención y evaluación de harina de maswua (*Tropaeolum tuberosum*). En III Congreso Internacional de Cultivos Andinos. MACA, IBTA, CIID-CANADA 8-12 febrero, La Paz, Bolivia, 331-334.
- Craig , S. M. (1989). Starch Paste Clarity. *Cereal Chem*, 66(3), 173-182.
- Croghan, M., & Mason, W. (1998). 100 years of starch innovation *Food Science & Technology today*, March, 17-24.
- De la Torre, E. & Balslev, H. (2008). La diversidad cultural del Ecuador. En: de la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, M. P., Macia, M. J. & Balselev, H (eds.). *Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador.* Herbario QCA & Herbario AAU, Quito & Aarhus: 39-52.

- Espinosa, P., Vaca, R., Abad, J., and Crissman C. (1996). Raíces y tuberculos andinos cultivos marginados en el Ecuador. Situación actual y limitaciones para la producción. Ediciones Abya-Yala. Quito, Ecuador. 178 p.
- Espinosa, P., Vaca, R., Abad, J., and Crissman C. (1997). Raíces y tuberculos andinos cultivos marginados en el Ecuador. Situación actual y limitaciones para la producción. Ediciones Abya-Yala. Quito, Ecuador.
- Fairlie T. Morales M. Holle M. (1999) Raíces y Tubérculos Andinos, Avances de Investigación. Centro Internacional de la papa consorcio para el desarrollo sostenible de la Ecoregión Andina. Cap. Evaluacion del Rendimiento, Características y Propiedades del Almidón de algunas raíces y Tubérculos Andinos, (Villacrés E., Espin S.) Pág. 25-40
- Fang fowler P. A., Sayers, C. Williams P. A. (2004). The chemical modification of a range of starches under aqueous reaction conditions. *Carbohydrate Polymers*, vol. 55 No. 3, pp, 283-289
- Grace, M. (1977). Elaboración de la yuca. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)*, 116.
- Grau A. R. O. (2003). Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavon). *The International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI)*, 1-27.
- Grau, A., Ortega Dueñas, R., Nieto Cabrera C., & Hernann, M. (2003). Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.). *Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. 25 International Potato Center, Lima, Perú/International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Guerra-De la Valle D. Bello-Pérez L. Gonzáles-Soto R. Solorza-Feria J. Aránbula-Villa G. (2008). Efecto del tiempo de reacción en la acetilación del almidón de plátano. Artículo técnica de la base de datos Scielo.
- Heinze T. Liebert T. Koschella A. (2006). Esterificatioc of Polysacharides. Vol XVI, 2006, pp 232
- Hernández J. P. (2004). Thermal and viscoelastic propertis of starch isolated from Mexican com hybrids. *Acta Cientifica Venezolana* 55(3), 276-287.

- Hernández, M. Torruco, J. Chel, L. Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review, *Carbohydrate polymers*: 45(3), 253-267.
- Hurtado, J.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 Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. (B.Sc. Tesis). 164 pp.
- Hwang, J. & Kokini, J. (1992). Contribution of the side branches to rheological properties of pectins. *Carbohydrate polymers*, 19(1), 41-50.
- ICONTEC. (2002). Alimentos para animales. Yuca integral seca para consumo animal NTC 3528. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)*.
- Imberty, A. Chanzy, H. Pérez, S. Buléon, A. & Tran, V. (1988). The double-helical nature of the crystalline part of A-starch. *Journal of Molecular Biology*, 201(2), 365-378.
- ISI. (2002). Determination of viscosity of starch by Brookfield. *Laboratory methods Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI)*. Recuperado de: <http://www.starch.dk/isi/methods/index.htm>
- ISI. (2000). *Determination of viscosity of starch by Brabender*. ISI 19-6E. In: *Laboratory methods*. Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI). Disponible en: <http://www.starchdk/isi/methods/index.htm>
- ISI. (1999). Determination of pH in starch and syrup. *ISI 26-5e Laboratory methods Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI)*. Recuperado de: <http://www.starch.dk/isi/methods/index.htm>
- Jacobsen, S. E. Mujica, A. & Ortiz, R. (2003). La importancia de los Cultivos Andinos, FERMENTUN Mérida-Venezuela-ISSN 0798-3069

- Knight, J. W. (1984). *Wheat starch: production, modification and uses*. In: Whistler, R.L., Bemiller, J.N. & Paschall, E.F. *Starch: Chemistry and Technology*. 2 ed. Orlando, Florida, Estados Unidos de América, Academic Press. Pp. 491-506.
- Lideboom, N. Chang, P. & Tyler, R. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch-Starke*, 56(3-4), 89-99
- Miranda, M. L. (2013). Caracterización Funcional del Almidón de Frijol Zaragoza (*Phaseolus lunatus* L.) y cuantificación de la resistencia del almidón. *Base de datos Scielo*, 1-2.
- Morales, P. (1969). Características físicas, químicas y organolépticas del almidón de: achira, Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 13 (51). Bogotá.
- NRC, N. R. (1989). Lost Crops of the Incas: Little Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation. *National Academy Press, Washington D.C.*
- Oblitas, E. (1969). *Plantas medicinales de Bolivia*. Cochabamba, Bolivia: Los Amigos del Libro.
- Oscar, R. Ortega, D, J. (2006). *Glucosinolate Survey of Cultivated and Feral Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón) in Springer, The New York Botanical Garden*.
- Pérez-Arbelaez, E. (1947). *Plantas útiles de Colombia*. Colombia: Ensayo de Botánica colombiana aplicada. Imprenta Nacional, Bogotá, Colombia.
- Ramallo, Z. R. (2004). Análisis exploratorio de los Ácidos Grasos del Isaño (*Tropaeolum tuberosum*). *Investigación y Desarrollo*, No 4: 71-77, ISSN 1814-6333
- Rea, J. (1984). Germoplasma Boliviano y calidad bromatológica de *Tropaeolum tuberosum*. In *Memorias: 4 Congreso internacional de cultivos andinos*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA); Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (CIID). Pasto, Colombia, 381-386.
- Rodríguez-Mahecha, J. V. Salaman, P. Jørgensen, P. Consiglio, T. Forno, E. Telesca, A. Suárez, L. Arjona, F. Rojas, F. Bensted-Smith, R. & Inchausty, V. H. (2004). Tropical Andes. In R. A. Mittermeier, P. R. Gil, M. Hoffmann, J. Pilgrim, T. Brooks,

- C. Goettsch Mittermeier, J. Lamoreux & G. A. B. Da Fonseca (editors), Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. CEMEX, Mexico City.
- Saltos, A. (2010). Sensometria, Análisis en el Desarrollo de Alimentos Procesados. Editorial Pedagógica Freire. (Riobamba-Ecuador).
 - Samaniego L. (2010). Caracterización de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* C.) Tesis de pre-grado, Universidad Tecnológica Equinoccial. Pág. 30-59
 - Sangeetha, M.T.R. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches, *Food Hydrocolloids*: 20(5), 557-566.
 - Senplades, (2014). *Plan Nacional de Desarrollo/Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Versión resumida*, Quito: Senplades.
 - Singh, J. K. (2007). Factors Influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications. *Food Hydrocoll*, 1-22.
 - Singh, N. S. (2005). Characteristic of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. *J Food Engineering*, 117-127.
 - Solano, J., Morales, D., & Anabalón, L. (2007). Molecular description and similarity relationship among native germoplasma potatoes (*Solanum tuberosum* ssp. *Tuberosum* L.) using morphological data and AFLP markers. *Electronic Journal of Biotechnology* 10(3):436-443. <http://dx.doi.org/10.2225/vol10-issue3-fulltext-14>
 - Thomas, D. A. (1999). Starch structure In: Practical guide for the food industry. *Eagan Press Handbook Serie. St Paul Mn. USA*, 49-86.
 - Valdivia, G., Devaux, S., Gonzales, J., Herbas and Hijmans, R., (1999). Desarrollo y producción de oca (*Oxalis tuberosa*) e isaño (*Tropaeolum tuberosum*) bajo dos niveles de fertilización. *Revista Latinoamericana de la Papa* (Peru). 11(1):121-135
 - Vian, A. (1994) Introducción a la química industrial. 2 ed. Barcelona, España. Reverté. Pp. 470 – 474.
 - Villacrés, E. M. B. (Septiembre de 2014). Master en ciencias, Investigadora en INIAP-Estación Santa Catalina. (P. Almeida, Entrevistador).
 - Villacrés, E. M. B. (2013). *Nutrición, Procesamiento y Gastronomía de RTA's en Ecuador*, Quito: INIAP.

- Villacrés, E. M. B. (2002). *Raíces y Tubérculos Andinos: Alimentos de ayer para la gente de hoy*, Quito: INIAP.
- Villacres, E. Brito, B. Espín, S. (1999). Caracterización Físico-Química Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. Cap. IV de Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina. Pp. 117 - 140
- Villacres, E. Espín, S. (1999). Evaluación y rendimiento, características y propiedades del almidón de algunas raíces y tubérculos andinos. En Raíces y Tubérculos Andinos. Avances de la Investigación Tomo 1. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. . 25-35
- Almidones a la vanguardia, encontrado en: www.industriaalimentaria.com

ANEXOS

ANEXO A

Procedimientos para la caracterización física del almidón

1. Materia seca

Técnica usada (ICONTEC, 2002)

La pérdida de peso durante el período de calentamiento es considerado igual al contenido de materia seca.

Preparación de la muestra

Tomar 5 gr de almidón

Materiales y equipos requeridos

Balanza analítica con una precisión de 0,01 g

Capsulas de porcelana

Horno con temperatura constante y ventilación forzada

Desecador con un agente de secado

Análisis

Pesar las capsulas vacías, limpias y enfriadas, después de secar durante 5 horas en un horno a 80 °C (P1)

Pesar en la capsula vacía entre 2 y3 gr de la muestra de almidón (P2)

Colocar la capsula con la muestra de almidón en un horno a 80 °C durante 24 horas.

Enfriar las capsulas con el almidón seco en un desecador hasta obtener peso constante (P3)

Pesar las capsulas con la muestra de almidón seco.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\% \text{ de Materia seca} = \frac{100 * (P_3 - P_1)}{(P_2 - P_1)}$$

Almidones con contenidos de materia seca mayores de 90 % indican severas condiciones de secado y almidones con contenidos de materia seca menores de 87% indican probabilidad de contaminación con hongos y otros microorganismos.

Valores de referencia

El contenido de materia seca de los almidones debe estar entre 87 – 90 %

2. Claridad de la pasta

Técnica usada (Craig *et al.*, 1989)

La claridad indica el grado de transparencia de las pastas y está directamente relacionada con el estado de dispersión de los solutos y con la tendencia a la retrogradación de los almidones

La capacidad de estas pastas para transmitir la luz cuando son sometidos al paso de un haz radiante mide su claridad.

Preparación de la muestra

Tomar 50 g de almidón

Materiales y equipos

Balanza analítica con una precisión de 0,01 g

Espectrofotómetro

Baño con calentamiento constante

Tubos de centrifuga de 50 ml, con tapa

Agitar de tubo

Pipeta volumétrica de 5 ml

Análisis

Pesar en tubos de centrifuga 0,2 g de almidón (bs)

Suspender el almidón en 20 ml de agua destilada

Colocar los tubos en un baño de agua a ebullición durante 30 minutos

Agitar la suspensión cada cinco minutos.

Después de pasados 30 minutos colocar la suspensión en cubetas del espectrofotómetro y dejar enfriar a temperatura ambiente

Leer el porcentaje de transmitancia a una longitud de onda de 650 nm, utilizando agua destilada como blanco.

Cálculos e interpretación de los resultados

Pastas de almidones que tengan valores de transmitancia menores a 40 % se consideran como opacos o turbias.

Pastas de almidones que tengan valores de transmitancia mayores de 40 % se consideran como claras o transparentes.

Valores de referencia

El valor de claridad en pastas de almidón varía entre 12,5 – 95 %.

ANEXO B

Procedimientos para la caracterización química del almidón

3. Humedad

Técnica usada (NTE INEN-ISO 712)

La determinación precisa del contenido en agua de los alimentos y se fundamenta en el método gravimétrico indirecto por desecación, éste método consiste en la medición de la pérdida de peso de la muestra debida a la evaporación de agua, el proceso puede efectuarse en estufa.

Preparación de la muestra

Si es necesario moler y tamizar el almidón para evitar presencia de materiales extraños

Materiales y equipos

Balanza analítica con precisión de 0,01 gr

Estufa a temperatura de 105 °C

Capsulas de porcelana

Análisis

Encerar la capsula de porcelana a 105 ± 3 °C por 30 minutos luego colocarlo en el desecador

Pesar la capsula vacía

Pesar 5 gr de muestra, en la capsula previamente encerada

Transferir la capsula con la muestra en la estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas

Transferir la capsula de la estufa y colocarlo en el desecador.

Pesar la capsula fría en la balanza

Todo este análisis se realizó por duplicado

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\%H = 100 - \%Materia\ seca$$

Valores de referencia

La humedad en harinas no debe exceder del 13%

4. Contenido de cenizas

Técnica usada (AOAC, 2000)

Este método analítico proporciona una estimación del material mineral presente en la muestra de almidón incluyendo metales, sales y trazas de elementos; se utiliza la pérdida gravimétrica por calentamiento.

Preparación de la muestra

Tomar 5 g de almidón

Materiales y equipos

Balanza analítica con una precisión de 0,01 g

Crisoles de porcelana

Desecador

Mufla

Análisis

Pesar aproximadamente 1,0 g de almidón en un crisol de porcelana que ha sido previamente lavado, secado en un horno y pesado

Colocar el crisol de porcelana con la muestra en el mufla e incinerar a 550 °C durante 3 horas y media

Enfriar el crisol y las cenizas en un desecador hasta tener peso constante

Pesar el crisol con las cenizas y calcular la cantidad de cenizas

Expresar los resultados como porcentaje de cenizas totales

Cálculos e interpretación de resultados

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{\text{Peso de las cenizas (g)} * 100}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

El contenido de cenizas puede proveer una estimación de la calidad del almidón: altos niveles de cenizas indican contaminación de la muestra.

Valores de referencia

En general, el contenido de cenizas en el almidón no debe exceder de 0,12 %.

5. Pulpa

Técnica usada (Grace, 1977)

Esta prueba permite determinar con relativa facilidad la presencia de pequeñas cantidades de fibra en el almidón. El volumen del sedimento medido depende, en cierto modo, de la finura de la fibra. La presencia de cualquier indicio de fibra, pulpa u otra impureza son determinadas por medio de una hidrólisis ácida moderada del residuo de la muestra.

Preparación de la muestra

Tomar 5 gr de almidón

Materiales y equipos

Balanza analítica con una precisión de 0,01 g

Plancha

Crisoles filtrantes

Papel filtro

Horno con calentamiento constante

Agua destilada

Ácido clorhídrico 0,4 % (v/v)

Análisis

Hervir 2-3 g de almidón durante 1 h en 100 ml de ácido clorhídrico 0,4 %

Filtrar el líquido en un crisol filtrante, previamente pesado, provisto de papel filtro

Lavar con agua caliente

Secar el crisol a 105-110°C hasta peso constante

Cálculos e interpretación de resultados

Pulpa (%)

$$= \frac{[(\text{Peso de crisol después de secado (g)}) - (\text{peso de crisol vacío (g)})] * 100}{\text{Peso de muestra analizada (g)}}$$

Valores de referencia

Un almidón de buena calidad no debe exceder 0,3% de pulpa

6. pH y Acidez titulable

Técnica usada (ISI, 1999)

El valor de pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una muestra, mientras que la acidez titulable es una medida de la cantidad de ácido presente. El pH es medido con un medidor de pH y la acidez titulable es determinada por titulación con hidróxido de sodio en el cambio final con fenolftaleína y es calculado por la presencia de ácidos presentes como ácido láctico.

Preparación de la muestra

Tomar 100 gr de almidón

Materiales y equipos

Balanza analítica con una precisión de 0,01 g

pH-metro (rango de 0 a 14)

Bureta de 25 ml

Erlenmeyer de vidrio de 250 ml

Balones volumétricos de 100 y 200 ml

Probeta

Agitador magnético

Embudo

Soluciones tampón de pH 4,0 y 7,0

Hidróxido de sodio 0,1 M

Fenolftaleína 1% (p/v en etanol)

Etanol

Agua destilada

Análisis

Medida de pH

Calibrar el pH-metro con la soluciones tampón pH 4,0 y pH 7,0

Mezclar 20 g de almidón en base seca con 100 ml de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO₂) durante 15 minutos.

Filtrar a través de un papel filtro Whatman N° 1

Tomar una alícuota y medir el pH con cifra decimal.

Medida de la acidez total

Tomar 50 ml del filtrado y titular con hidróxido de sodio 0,1 N utilizando fenolftaleína como indicador.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$N_a * V_a = N_b * V_b$$

Dónde:

N_a = normalidad del ácido

V_a = volumen del ácido

N_b = normalidad de la base (NaOH)

V_b = volumen de la base

Con el volumen de neutralización se puede calcular fácilmente la concentración de la solución de los ácidos

Registrar los resultados como miliequivalentes de ácido láctico por 100 g de muestra seca.

El valor del pH y de la acidez titulable son buenas medidas del grado de fermentación del almidón. El pH disminuye a 4,0 cuando sucede la fermentación ácida. El crecimiento de hongos libera amoníaco e incrementa el valor del pH.

Valores de referencia

El valor del pH en un almidón nativo debe estar entre 6,0 – 6,5

La acidez titulable debe estar entre $2,2 * 10^{-3}$ y $5 * 10^{-3}$ meq de ácido láctico/g de almidón

ANEXO C

Procedimientos para la caracterización reologica del almidón

7. Temperatura de Gelatinización

Técnica usada (Grace, 1977)

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría; cuando se calientan en solución a temperaturas altas alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia. Esta temperatura es llamada temperatura de gelatinización.

Preparación de la muestra

100 g de almidón

Materiales y equipos

Balanza analítica con una precisión de 0,01 g

Plancha de calentamiento

Vasos de precipitación de vidrio de 100 y 250 ml

Frascos volumétricos de 100 ml

Pinzas de acero inoxidable

Termómetro con escala de 0 – 100 °C

Análisis

Pesar 100 g de almidón (bs) disolver en agua destilada y completar a 100 ml

Calentar agua en un vaso de precipitación de 250 ml a 85 °C

Tomar 50 ml, de la suspensión en un vaso de precipitación de 100 ml

Introducir el vaso de precipitación con la muestra en el agua a 85 °C.

Agitar con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos.

Leer la temperatura de gelatinización.

Cálculos e interpretación de los resultados

La temperatura de gelatinización se lee directamente en el termómetro,

Valores de referencia

El valor de la temperatura de gelatinización en almidón varía entre 57,5 – 70 °C.

8. Índice de absorción de agua, Índice de solubilidad en agua y Poder de hinchamiento

Técnica usada (Anderson *et al.*, 1969)

Cuando se calienta una suspensión acuosa de almidón, los granulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua aumentando su tamaño. La determinación de estos índices se mide aprovechando la capacidad de absorción del agua del gránulo de almidón y la exudación de fracciones de almidón a medida que se incrementa la temperatura de las suspensiones de almidón.

Preparación de la muestra

Tomar 50 g de almidón

Materiales y equipos

Balanza analítica con una precisión de 0,01 g

Baño con calentamiento constante

Centrifuga

Tubo de centrifuga de 50 ml

Horno con temperatura constante

Pipeta volumétrica de 10 ml

Pipeteador de 30 ml

Análisis

Pesar tubos de centrifuga secos a 60 °C

Pesar en los tubos 1,25 g de almidón (bs) y agregar exactamente 30 ml de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar (sin excederse).

Colocar en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos, agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento.

Centrifugar a temperatura ambiente a 4 900 RPM durante 30 minutos.

Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y medir el volumen

Tomar 10 ml del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitación de 50 ml (previamente pesado).

Secar el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C

Pesar el tubo de centrifuga con el gel

Pesar el vaso de precipitación con los insolubles.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)bs}}$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso solubles (g)} * V * 10}{\text{Peso muestra (g)bs}}$$

$$\text{Poder de inchamiento (PH)} = \frac{\text{Peso de gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)bs} - \text{Peso solubles (g)}}$$

Almidones de buena calidad con alto contenido de almidón y alta viscosidad de la pasta, tendrán una baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento.

Alta, baja absorción de agua y bajo poder de hinchamiento indican un almidón de baja calidad, el cual al enfriarse produce pastas delgadas y de poca estabilidad cuando se enfrían.

Valores de referencia

El índice de absorción de agua en el almidón varía entre 0,82 y 15,52 g gel/g muestra; el índice de solubilidad en agua entre 0,27 – 12,32 % y el poder de hinchamiento entre 0,79 y 15,45.