

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como principal objetivo determinar una nueva técnica de aislamiento de almidón proveniente de granos de Kiwicha. Para lo cual se caracterizó algunas propiedades físico-químicas correspondiente a los granos de kiwicha de la variedad Centenario. Luego se procedió a desarrollar 18 tratamientos, los mismos que son la resultante de la aplicación de soluciones con diferente contenido de bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y alcohol etílico. Los almidones extraídos, fueron evaluados respecto al Rendimiento, Almidón recuperado, Pureza e Índice de Blancura expresados en las escalas Hunter y CIE. Asimismo se realizó análisis proximales, conjuntamente con determinaciones de azúcares reductores y amilosa a los almidones extraídos correspondientes a cada tratamiento; visualizándose los efectos de las soluciones de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y alcohol etílico).

Los contenidos residuales de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza y azúcares reductores presentes en el almidón aislado de granos de kiwicha fueron analizados mediante la técnica estadística de análisis factorial con submuestreo y se identificaron las menores concentraciones cuando se trabajó de la siguiente forma: proteína cruda (0,30% de bisulfito de sodio; 0,25% de NaOH y 90% de alcohol etílico); extracto etéreo (0,25% de NaOH y 90% de alcohol etílico); fibra cruda (uso de tamices y solución de NaOH al 0,25%, permitió no tener presencia de fibra cruda); amilosa (las soluciones empleadas no influenciaron cambios en el contenido de amilosa); y azúcares reductores (ninguno de los tratamientos produjo almidones con contenido de azúcares reductores).

El estudio del efecto de las concentraciones residuales de (proteína cruda, fibra cruda, extracto etéreo, ceniza) en las variables Pureza e Índice de Blancura expresados en las escalas Hunter y CIE; se realizó mediante la

aplicación de la técnica estadística de regresión múltiple y simple, permitió explicar la variable Pureza a través de las concentraciones residuales de proteína cruda, ceniza, extracto etéreo y fibra cruda. El índice de blancura expresado en las escalas Hunter y CIE fue explicado por el contenido residual de proteína cruda y extracto etéreo.

La aplicación de la técnica estadística de análisis de agrupamientos (Cluster), permitió clasificar los registros de pureza e índices de blancura expresados en las escalas Hunter y CIE. El almidón que logró el mayor porcentaje de pureza fue al trabajar con 0,30% de bisulfito de sodio; 0,15% de NaOH y 90,0% de alcohol etílico, el cual fue la base para las evaluaciones de la pasta, mediante la determinación de la Viscosidad Aparente, Estabilidad y Claridad de la Pasta de Almidón, Estabilidad a la Congelación y Descongelación e Índices de Solubilidad y Poder de Hinchamiento, logrando mostrar una gran estabilidad, lo cual permite su aplicación en la industria de alimentos.

## I. INTRODUCCIÓN

La kiwicha (*Amaranthus caudatus* Linneo) es uno de los cultivos andinos que se encontraba sumamente extendido en la época del incanato. Por razones de desconocimiento de manejo agronómico su cultivo no tuvo la difusión mundial que alcanzaron la papa, tomate y el maíz, los mismos que modificaron radicalmente la alimentación mundial. La kiwicha en la actualidad es objeto de estudio por su alto contenido proteico, además de la calidad de sus aminoácidos, vitaminas y minerales.

La kiwicha es una de las especies que puede destinarse a diferentes usos: producción de grano, producción de hojas tiernas, en reemplazo o complemento de las hortalizas de hoja, producción de forraje, asimismo la producción de kiwicha puede contribuir fuertemente al desarrollo de la agroindustria rural, ya que es posible procesarlo para producir harina, hojuelas, fideos, granos reventado (expandido), germinados, etc. Su alto valor nutritivo, dado su contenido de proteína y un balance adecuado de aminoácidos esenciales, así como su adecuado contenido de vitaminas y minerales hacen de este grano un alimento importante en la nutrición humana. En años recientes los almidones de los granos andinos, especialmente los provenientes del género *Amaranthus* vienen siendo investigados en razón al pequeño tamaño de almidón. Esta cualidad posibilita ser aplicados en múltiples rubros, tal es el caso de la fabricación de plásticos biodegradables, almidones modificados para la elaboración de matrices alimenticias que soporten temperaturas esterilización, congelación y almacenadas en medios ácidos.

Por esta razón se han centrado algunos estudios referidas a nuevas fuentes de almidón; en tal sentido, en la presente investigación se realizó la caracterización física química de los granos de kiwicha de la variedad Centenario. El proceso de aislado de almidón proveniente de los granos de kiwicha se planteó sobre la base de los estudios reportados por (Pérez *et al.*, 1993) y (Malinski *et al.*, 2003).

Los objetivos de la presente investigación fueron:

- Caracterizar fisicoquímicamente los granos de kiwicha variedad Centenario, respecto a su contenido de (proteína cruda, extracto etéreo, ceniza, fibra cruda, almidón, amilosa, azúcares reductores) y tamaño de grano.
- Determinar el efecto de las soluciones bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y alcohol etílico durante el proceso de aislado de almidón respecto a las variables rendimiento, almidón recuperado, pureza e índices de blancura en las Escalas Hunter y CIE.
- Evaluar las propiedades físicas de la pasta obtenidas a partir del almidón aislado de kiwicha de mayor porcentaje de pureza.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Taxonomía y nombres comunes

La clasificación taxonómica de *Amaranthus caudatus* Linneo “kiwicha”, según (Takhtajan, 1980) es la siguiente:

División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sub Clase	Caryophyllidae
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae.
Género	Amaranthus
Especie	<i>Amaranthus caudatus</i> Linneo.

Otros nombres asignados a *Amaranthus caudatus* Linneo, según (National Research Council, 1989). Sinónimos *Amaranthus edulis*, *Amaranthus mantegazzianus*, nombres comunes Quechua: Kiwicha, quihuicha, inca jataco; ataco, ataku, sankurachi, jaguarcha (Ecuador), millmi, coimi. Aymara: qamasa. Español: Kiwicha, amaranto, trigo inca, achis, achita, chaquilla, sangorache, borlas. Portugués: Amarantho de cauda. Inglés: Amaranth, love – lies – bleeding, red – hot cattail, bus green, Inca wheat (normalmente usado para quinua). Frances: Amarante caudée. Este se aprecia en la Foto 1.

**Foto 1. Cultivo experimental de *Amaranthus caudatus* L. en el Programa de Cereales de la UNALM**



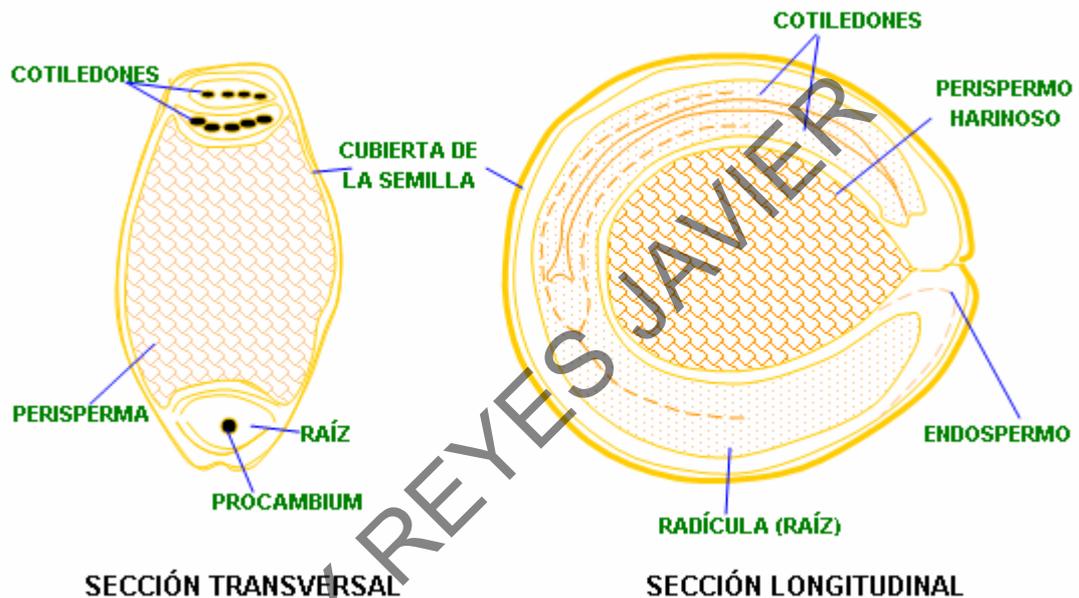
Fuente: Elaboración propia

## **2.2. Estudio Morfológico, Tamaño y Color del grano del género *Amaranthus***

Cronquist (1981) reportó que las semillas (granos) del género *Amaranthus* tienen el pericarpio anular, embrión dicotiledóneo, rodeado de abundante almidón; presenta perispermo fuerte. Asimismo Irving *et al.* (1981) determinaron que la cubierta del grano consiste en una capa simple y única cuya porción exterior contiene el pigmento que imparte color a la semilla, ésta capa está íntimamente ligada al perispermo, excepto en la región del embrión (germen) donde la cubierta de la semilla, está ligada al endospermo a lo largo de una gruesa pared de células. El endospermo cubre en su mayor parte a la radícula, aunque una pequeña cantidad cubre también la punta de los cotiledones. El perispermo (tejido de almacenamiento) está en el centro de la semilla y contiene granos de

almidón. En la Figura 1 se observa el corte de la semilla de *Amaranthus caudatus* L.

**Figura 1**  
**Ilustración de la Semilla de *Amaranthus caudatus* L.**



Fuente: Sumar (1993)

Serna (1996) menciona que las plantas del género *Amaranthus* por presentar embrión dicotiledóneo no pueden ser incluidas en el grupo de los cereales. Los cereales pertenecen a la familia de las Gramíneas, teniendo estas como característica común el ser monocotiledóneas cuyo cotiledón, localizado en el germen del grano, es denominado botánicamente escutelum o escudo. Por lo anteriormente expuesto los granos del género *Amaranthus* serán denominados en el presente proyecto como pseudocereales.

### 2.3. Composición del grano de kiwicha

Becker *et al.* (1981) encontraron que la composición de los granos de amaranto varía a causa de las prácticas agronómicas. La mayoría de investigadores han observado un contenido de 62- 69% de almidón, 14-15% de proteína, 2-3% de azúcares totales, 6-7% de lípidos y 3- 3,2% de cenizas.

#### 2.3.1 Proteína

Los granos de amarantos contienen un nivel promedio más alto de proteína que la mayoría de los granos de uso convencional. La proteína esta principalmente distribuida en el embrión (germen) más la envoltura de la semilla (65%), y en el perispermo amiláceo (35%). La proteína del grano contiene niveles más altos de aminoácidos azufrados y lisina que los granos convencionales, siendo invariablemente la leucina el aminoácido limitante.

#### 2.3.2 Grasa

El contenido total de lípidos fluctúa en un rango 5,4 a 17,0% expresado en materia seca y tienen un alto nivel de insaturación (alrededor de 75%), conteniendo casi 50% de ácido linoleico (Teutónico y Knorr, 1985).

Yáñez *et al.* (1994) determinaron para los granos de *Amaranthus cruentus* la razón entre ácidos grasos saturados a insaturados es aproximadamente 1: 3. Siendo el ácido oleico el 33%, el ácido linoleico forma el 34,3% de los lípidos. Además los estudios de León – Camacho *et al.* (2001) y Berganza *et al.* (2003) reportaron para *Amaranthus cruentus* altas concentraciones de escualeno que ascienden 6 – 8% y 3,59 – 5,44% del contenido de aceite total de la semilla respectivamente.

### 2.3.3. Ceniza total

Betschart *et al.* (1981) citan que el contenido de cenizas totales en granos intactos de *Amaranthus* es de 3,2%. Sin embargo en el saco embrionario su contenido alcanza el nivel de 7%. En el perispermo es de 1,2% de ceniza. En los granos enteros, saco embrionario y perispermo contienen 215, 309, y 107 ppm respectivamente de Fe. Asimismo Co presente en los granos enteros, saco embrionario y perispermo contienen 1,6; 1,92; y 0,5 ppm de cobalto.

Villafuerte (1984) encontró al evaluar 25 líneas de kiwicha de la Colección *Amaranthus* Cusco, que los granos de color negro son los que tienen el mayor porcentaje en ceniza. Así también determinó los contenidos de calcio, magnesio, fósforo, potasio y hierro siendo estos valores promedios expresados en base seca (mg de mineral / 100g), los siguientes 428; 218,6; 136,52; 405,48 y 304,68 respectivamente.

### 2.3.4. Fibra cruda

La fibra cruda en un grano intacto está presente 3,3%, sin embargo su concentración en el saco embrionario alcanza nivel de 7,7%. El perispermo que preponderantemente es almidón contiene 0,9% de fibra cruda. Lo cual indica que la acción abrasiva sería aplicada para facilitar el aislamiento del almidón de granos de kiwicha (Betschart *et al.*, 1981).

### 2.3.5. Azúcares reductores

Monosacáridos como glucosa y fructosa, están presentes en los granos de *Amaranthus* solo en cantidades trazas. La ausencia de monosacáridos libres es una característica típica del estado de madurez del grano. Pequeñas cantidades de maltosa sugieren la presencia de alguna hidrólisis amilasa del almidón durante su almacenamiento (Betschart *et al.*, 1981).

Lorenz y Gross (1984) citados por López *et al.* (1994) encontraron concentraciones de glucosa como principal azúcar libre (0,12 a 0,67% en b.s.) seguido de fructosa (0,05 a 0,13% en b.s.), ambos extraídos con etanol.

### 2.3.6. Almidón

El almidón es el carbohidrato más abundante en los granos de *Amaranthus*, constituyendo alrededor del 62% del peso total del grano (Becker *et al.*, 1981). Otros investigadores reportaron proporciones de almidón que fluctuaron entre 50 a 60% del peso total del grano (Schnetzler y Breene, 1994).

Ruales y Naír (1992) manifiestan que el contenido de almidón en quinua presenta un rango de 57,5 a 65,2% en base seca. Este depende de la variedad y el método de análisis empleado para su determinación.

Mundigler (1998) y Calceta *et al.* (2003) encontraron contenidos de almidón en otras especies del género *Amaranthus*, expresado en base seca, siendo para *Amaranthus cruentus* ascendente a 67,3% y 73% respectivamente. Marcone (2001) encontró para *Amaranthus pumilus* y *Amaranthus hypochondriacus* contenidos de almidón 61,4 y 61% respectivamente. Asimismo Arellano *et al.* (1992) citan para *Amaranthus mantegazzianus* un contenido de almidón 48,60 g/100g de grano.

### 2.3.7. Amilosa

Schnetzler y Breene (1994) manifiestan que el contenido de amilosa en el género *Amaranthus*, constituye entre 0 a 22% del total del almidón presente. Bressani (1994) menciona que el almidón está constituido principalmente por amilopectina y con solo de 5 a 7% de amilasa. Marcote (2001) reporta un contenido de amilosa para *Amaranthus pumilus* y *Amaranthus*

*hypochondriacus* de 8,20 y 4,17% respecto del contenido total de almidón presente en el grano.

### 2.3.8. Morfología, tamaño y color de los granos

Sumar (1993) reporta que las semillas de la kiwicha tienen formas elípticas redondeadas, de bordes convexos o afilados, opacos o semitranslúcido y de color diferente según el ecotipo: negras, castañas, blancas, blanco rosadas o blanco amarillentas, de 1 a 1,3mm de diámetro por 0,5 a 0,8mm de espesor. Un gramo de semilla contiene aproximadamente de 800 a 1600 semillas.

Bressani (1991) menciona que no se han realizado estudios para incrementar el tamaño y peso del grano de amaranto, excepto por unos estudios reportados por (Murria, 1940) citado por Bressani (1991) reporta un incremento del 50% en peso de los granos de *Amarantus caudatus* tratados con colchicina.

Choquehuanca (1982) al evaluar noventa y siete líneas de selección tempranas (Campaña Agrícola 1981) de la Colección *Amaranthus sp.* Cuzco (CAC), provenientes del Banco de Semillas del Centro de Investigación de en Cultivos Andinos (CICA) respecto a características morfológicas, físicas y químicas de las semillas, encontró que las líneas presentaron colores blanco – amarillento, amarillo grisáceo, pardo, rosado y negro. La forma de los granos vistos de frente fueron: lenticular y elipsoidal u ovoide; vistos de arriba fue circular. El peso de 1000 granos promedio fue de 0,76 g; variando desde un máximo de 1,080 g; hasta un mínimo de 0,540 g; cuyo rango es de 0,540 g; desviación estándar de 0,13 g, y coeficiente de variabilidad de 17,11%.

Ríos (2001) al evaluar 295 accesiones de la especie *Amaranthus caudatus* L., pertenecientes al Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional Agraria, referidos a caracteres cualitativos tales como: **Color de grano** se

observó un predominio del color amarillo 60%; con 28,81% de color marrón; 5,76% de color púrpura; 3,73% de color rojo y 1,69% de color negro. Asimismo afirmo que en el género *Amaranthus* se distinguen las formas cultivadas de las silvestres por el color de grano, en las primeras predomina el color claro y en la segunda el color oscuro. **Forma de grano**, observó el predominio de la forma elíptica con 48,81%; granos intermedios 32,54% y 18,64% de forma redonda referidas al total de las accesiones evaluadas. Asimismo Pita y Martínez (2001) definen accesión como la muestra con número, que le permite ser identificada inequívocamente del resto de muestras (entradas que llegan al Banco de Semillas).

#### **2.4. EL GRÁNULO DE ALMIDÓN: LA ESTRUCTURA SÚPER MOLECULAR**

El almidón está organizado en partículas conocidas como gránulos cuya morfología, composición química y estructura súper- molecular (disposición espacial de las moléculas en el estado sólido) son características de cada especie. Cuando se extraen y se secan los gránulos de almidón tienen la apariencia de un polvo blanco y son insolubles en el agua fría.

##### **2.4.1 Composición del gránulo de almidón**

Tester *et al.* (2004) encontraron que los gránulos de almidón están compuestos de dos polímeros (amilosa y amilopectina) los cuales representan, aproximadamente 98-99% del peso seco. El cociente de los dos polímeros varía acorde con el origen botánico del almidón. El almidón céreo contienen menos de 15% de amilosa; normalmente el contenido de amilosa se presenta entre 20-35%, y concentraciones altas de amilosa están referidas a cantidades superiores al 40%. Además, las investigaciones realizadas por Becker *et al.* (1981) y López *et al.* (1994) encontraron un contenido de amilosa para *Amaranthus hypochondriacus* de 7,2% y 2,10% respectivamente. Asimismo Atwell *et al.* (1983) determinaron una

concentración de  $11,0 \pm 0,2\%$  de amilosa para almidón aislado de granos de *Chenopodium quinoa*, considerando a este contenido de amilosa como bajo en comparación a los almidones de cereales.

## **2.4.2. Otros componentes en el almidón**

### **2.4.2.1. Contenido de humedad**

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

### **2.4.2.2 Lípidos presentes en los gránulos de almidón**

Los lípidos forman otro importante componente que tiene un fuerte efecto en las propiedades del almidón. Los almidones de los cereales contienen lípidos endógenos en la forma de lisofosfolípidos (LFL) y ácidos grasos libres (AGL), que representan entre 0,05 – 0,8% de la concentración. Asimismo los gránulos de almidón presentan lípidos adsorbidos en su superficie, estos lípidos se presentan como contaminantes del almidón y estos son triglicéridos, glicolípidos, fosfolípidos y ácidos grasos libres que provienen de membranas de amiloplastos y fuentes distintas al almidón (Tester *et al*, 2004). Sin embargo Moorthy (2002) reporta una interacción lípido – almidón, la cual es particularmente importante en los almidones provenientes de cereales por que albergan lípidos de alcance notorios. Los almidones provenientes de tubérculos contienen una menor cantidad de lípidos y sus efectos no trascendente por ejemplo el almidón de yuca varía de 0,11 a 0,22%.

### 2.4.2.3 Proteína presente en el gránulo de almidón

Baldwin (2001) menciona que una pequeña cantidad de proteína esta estrechamente asociada a los gránulos de almidón provenientes de diferentes fuentes botánicas, generalmente son de dos tipos; a) Proteínas almacenadas (por ejemplo, gliadina y glutenina) las cuales son remanentes adsorbidos por la superficie del almidón después del proceso de extracción y b) Proteínas asociadas al gránulo de almidón (PAGA) las cuales provienen de distintas fuentes biológica en razón a las proteínas almacenadas en las plantas y están estrechamente ligadas a la superficie donde están en asociación con lípidos y al componente integral del gránulo de almidón. Las PAGA se pueden dividir en dos grupos en función al peso molecular de la proteína estos son 1) Proteínas de de bajo peso molecular de (~5; 8; 15; 19 y 30 k Da) las cuales están asociadas con la superficie del gránulo y 2) Proteínas de alto peso molecular (60; 77; 86; 95 y 149 k Da) las cuales están asociadas al gránulo internamente.

### 2.4.2.4 Cenizas totales (minerales) presentes en el gránulo de almidón

Tester *et al.* (2004) encontraron que los almidones también contienen pequeñas cantidades (<0,4%) de minerales tales (calcio, magnesio, fósforo, potasio y sodio) los cuales tienen, con excepción del fósforo, con una mínima significancia funcional. Para Moorthy (2002) reporta que el fósforo es un componente invariable presente en el almidón, por que es asociado con la síntesis del almidón en el cloroplasto.

El fósforo es encontrado en tres formas: fosfato monoester, fosfolípidos y fosfatos inorgánicos. El fosfato monoester está selectivamente enlazado a regiones específicas dentro del polímero de amilopectina. En el almidón de *Triticeae* el fósforo está contenido en los fosfolipos y estos están relativamente presentes en los alfa glucanos monoester. Otros almidones generalmente contienen pequeñas cantidades de fósforo, con la excepción del almidón de papa donde esta esencialmente presente en forma no lípido.

Aquí el fosfato monoéster contenido excede a 0,1% (Kasemsuwan y Jane, 1996 citados por Tester *et al.*, 2004).

El contenido de cenizas presente en el almidón está influenciado por la variedad, prácticas culturales de abonamiento. Además García y Walter (1998) al caracterizar físico químicamente almidones provenientes de selecciones de camotes peruanos que crecieron en La Molina y Cañete determinaron que el contenido de ceniza fue afectado por la localización, siendo alto en las muestras provenientes de La Molina (0,59%) en comparación a las provenientes de Cañete (0,27%).

#### **2.4.2.5 Contenido de fibra cruda**

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

#### **2.4.3 Tamaño y morfología del gránulo de almidón**

Los gránulos de almidón pueden reconocerse por su forma, tamaño, posición del hilo (punto original a partir del cual ocurre el crecimiento del gránulo). El tamaño y la forma está relacionado con la fuente biológica del cual fue aislado el almidón.

##### **2.4.3.1 Tamaño del gránulo de almidón**

En general, el tamaño fluctúa entre menos de 1µm a más de 100µm; generalmente, el tamaño del gránulo está referido al diámetro promedio del gránulo de almidón. Para esto se asume la esfericidad del gránulo lo cual es pocas veces correcto. El tamaño del gránulo muchas veces es expresado como el promedio del mayor y menor longitud de corte, promedio de los diámetros máximos, promedio del volumen del gránulo o área superficial promedio. En la presente investigación, expresaremos el tamaño de gránulo

como el diámetro basado en la superficie que corresponde al diámetro de una esfera con el mismo volumen de la partícula.

Lindeboom *et al.* (2004) proponen que los tamaños de gránulos de almidón están comprendidos dentro de la siguiente clasificación: grandes (>25um), mediano (10-25um), pequeño (5-10um) y muy pequeño (<5um).

La presente investigación proporciona mayor cantidad de información respecto a almidones pequeños y muy pequeños en razón de la especie motivo de estudio es (*Amaranthus caudatus* L.). Sin embargo Lindeboom *et al.* (2004) citan una compilación (Cuadro 1) de almidones pequeños, muy pequeños y una clasificación bimodal proveniente de varias especies que ilustra la variabilidad de tamaños de gránulos de almidón en una misma especie.

PERCY REYES JAVIER

**Cuadro 1. Tamaño de Gránulo de Almidón Proveniente de Diversos Orígenes Botánicos**

<b>Fuente Botánica</b>	<b>Diámetro (um)</b>
<b>Bimodal</b>	
Cebada	2-3 y 12-32
Choclo ( <i>Zea mays</i> )	1-5 y 10-20
Centeno	2-3 y 22-36
Triticale (Híbrido trigo y centeno)	5 y 22-36
Trigo	<10 y 10-35
<b>Pequeños</b>	
Trigo moro (Buckwheat)	2, 0- 1, 4
Cattail ( <i>Typha latifolia</i> L.)	2, 0- 1, 5
Durian ( <i>Filipéndula vulgaris</i> M.)	3, 0- 1, 4
Tef ( <i>Eragrotis tef</i> Z.)	2, 0- 6, 0
Avena	2, 0- 1, 4
Parsnip	1, 0- 6, 0
Arroz	2, 0- 10, 0
Small millet	0, 8- 10, 0
Arroz silvestre	2, 0- 8, 0
<b>Muy pequeño</b>	
Amaranthus ( <i>Amaranthus cruentus</i> L.)	1, 0 – 2,0
Alpiste	1,5 - 3, 5
Cow cokcle ( <i>Saponaria vaccaria</i> L.)	0, 3 - 1, 5
Dasheen	0, 5 - 3, 0
Pigweed ( <i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	1, 5 - 4,0
Quinoa	0, 5 – 3,0
Tara	2, 0 – 3, 0

Fuente: Lindeboom *et al.* (2004)

### **2.4.3. 2. Morfología del granulo de almidón**

Los gránulos de almidón provenientes de diversas especies botánicas difieren en su morfología. El gránulo de almidón tubérculos y raíces por ejemplo, son ovales, redondeados, esféricos y poligonales y también de forma irregular. Pequeñas fracciones de gránulos de trigo, cebada, centeno y triticale tienen diferente morfología que su contraparte de gránulos de tamaño grande. Los gránulos de almidón de frijol y arveja tienen forma característica de discos densos con un corte alrededor del centro o al final y un desgaste en el borde del gránulo. Los gránulos de almidón provenientes de frutas y nueces varían en forma. Algunos almidones de nueces tienen una inusual morfología de media esfera, aunque la mayoría presenta forma redondeada. Los gránulos de almidón de tamaño pequeño y muy pequeño son caracterizados por formas muy irregulares y poligonales.

### **2.4.3.3 Técnicas para la determinación del tamaño del gránulo de almidón**

La generación de datos de distribución de tamaños de gránulos de almidón se realizó para comparar almidones de diferentes fuentes botánicas para esto se accede a parámetros de procesamiento de almidón, especialmente la eficiencia de operaciones centrifugas. La exactitud de la distribución obtenida es dependiente de la técnica aplicada para la determinación del tamaño de los gránulos y el método empleado para el aislamiento del almidón. Una satisfactoria técnica de determinación del tamaño evalúa todos los gránulos sin ausencia de las fracciones de los gránulos pequeños y muy pequeños, manteniendo los gránulos en forma desagregada, y el poder distinguir entre partículas almidones y no almidones.

#### **a. Microscopia**

El microscopio de luz es el más idóneo para el uso en cualquier lugar, mediante la coloración de una pequeña y delgada muestra de tejido con yodo, de la misma forma se puede utilizar con una muestra de almidón aislado. Aunque este método es laborioso y no se puede

esperar que proporcione una información detallada que puede ser obtenida con el método de atenuación y disipación de luz (scattering) y/o el de fraccionamiento por campo de flujo (field flow fractionation).

El método de microscopio de luz se adapta concretamente a partículas entre 1 y 100 $\mu$ m de diámetro, derivando en el análisis de imágenes de microscopio óptico. Un prerequisite para el éxito de análisis de imágenes es que los gránulos no estén dañados durante el aislamiento de almidón y las muestras estén homogéneas. El análisis de imágenes es mucho más rápido que el tradicional método de microscopio. Aunque, la diferenciación entre los gránulos de almidón y los no almidones es muy difícil. El empleo de microscopía de barrido de electrones es frecuentemente usado por que la longitud de onda irradiada por el electrón es corta, lo cual hace posible tener una mayor precisión en la medición de tamaño de gránulo de almidón en comparación al empleo de microscopio de luz. La resolución brindada por el microscopio electrónico también provee una mayor perspectiva de mayor detalle en las características de la superficie y morfología del gránulo.

#### **b. Tamizado**

La determinación del tamaño de gránulo mediante la técnica de micro tamizado es una técnica no – microscópica por lo cual los gránulos de diferentes tamaños son separados mediante el vertido de la muestra en la parte superior de una serie de tamices apilados de mayor a menor abertura. Los pesos relativos de los gránulos de almidón retenidos por los tamices expresan la distribución de tamaño. Esta técnica presenta errores basados en la agregación de los gránulos de almidón. Aunque fracciones de pequeños almidones (<10 $\mu$ m) fueron encontrados libres de gránulos grandes, los otros tamizados fueron heterogéneos como consecuencia de la obturación de aberturas.

**c. Resistencia eléctrica**

El método de resistencia eléctrica usa el contador de Coulter para contar partícula una por una, en el intervalo de 3 $\mu$ m a 20 $\mu$ m de diámetro y con velocidades de hasta 3000 por segundo. Las partículas se suspenden en un electrolito y son forzadas a pasar por una abertura u orificio. Se mide el voltaje entre los dos electrodos ubicados en la abertura, siendo el tamaño de la partícula proporcional a la diferencia de voltaje (Rasper, 1971).

**d. Atenuación y disipación de luz (scatering) empleando Láser**

Las mediciones se basan en la interacción de un haz de luz al pasar a través de una suspensión de partículas, el ángulo de la radiación reflectada es dependiente del diámetro y las propiedades ópticas de los gránulos. Este método es rápido por que el número de gránulos medidos es superior a 100.000. Este método posibilita evaluar gránulos como hasta 0,1 $\mu$ m de diámetro. Un prerrequisito para usar esta técnica satisfactoriamente es que los gránulos no estén dañados.

**e. Fraccionamiento por campo de flujo (Field Flow Fractionation)**

El fraccionamiento por campo de flujo es una técnica que está comprendido dentro de las técnicas analíticas de elusión para la determinación de tamaño y fraccionamiento de macromoléculas y partículas. Las partículas suspendidas en flujo laminar ascendente de fluido, mientras en el otro sentido opera un campo de fuerza gravitacional o centrífuga. Todas las partículas con velocidades terminales menores que la velocidad ascendente del fluido serán arrastradas y capturadas en un filtro. Se obtiene un análisis completo usando sucesivamente distintas velocidades ascendentes. Esta técnica puede medir un gran número de gránulos de almidón en corto período de tiempo. La ventaja de la técnica de fraccionamiento por campo de flujo sobre otras técnicas es la capacidad de distribuir la muestra acorde con el tamaño de los gránulos. Además, esta técnica

es rápida y ofrece una alta resolución. Una desventaja de esta técnica de sedimentación es que asume que todas las partículas tienen forma esférica y densidad homogénea. El prerrequisito para emplear esta técnica es que los gránulos de almidón no estén dañados durante el proceso de aislado.

**f. Non – contact Atomic Force Microscopy**

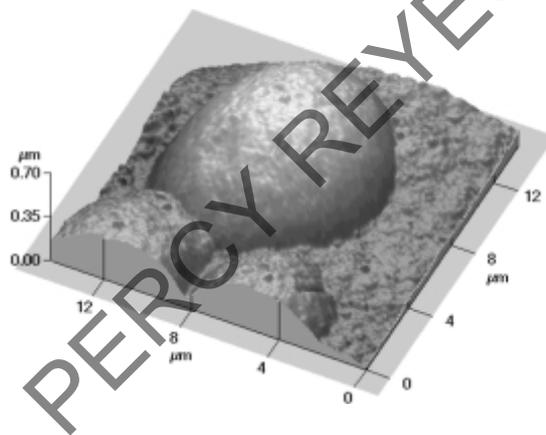
Aguilera (2000) menciona que la morfología y topografía de la superficie de los gránulos de almidón son importantes características a ser consideradas en los productos sólidos y tiene un impacto no solo en las propiedades sensoriales de los productos finales sino también en el comportamiento de los productos durante el procesamiento, almacenamiento y uso.

La producción de almidones modificados involucra procesos físicos, químicos y fenómenos bioquímicas en la superficie por contacto de fases. La velocidad y eficiencia de estos procesos dependen por ejemplo del origen botánico del almidón y del tamaño y estructura de los gránulos de almidón, quienes involucran el exterior e interior de la superficie dependientes de poros y canales quienes causan el desarrollo de la superficie específica. La presencia de poros y canales penetrantes que se inician en la superficie del gránulo hacia el hilio es una característica natural de la morfología del almidón pero también pueden estar afectados en los procesos de aislado y secado del almidón.

La técnica sin contacto de superficies llamada Non-contact Atomic Force Microscopy posibilita el estudio de la superficie del almidón detallando la estructura de poros y protuberancias. En la presente investigación se consideró pertinente profundizar la revisión de literatura como precedente teórico para futuros estudios, para lo cual

se enfatizó en los gránulos de almidón de yuca, papa, cebada, maíz, arroz y trigo.

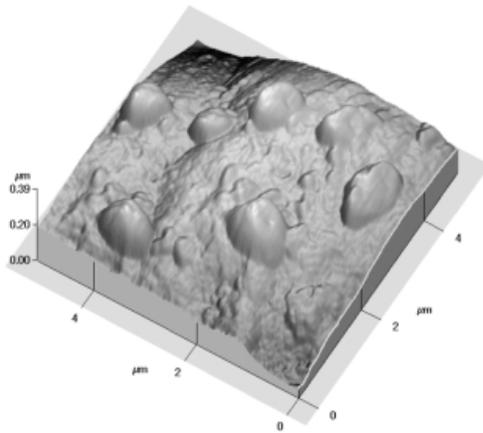
Basándose en las observaciones realizadas con Non-contact AFM en los gránulos de almidón de papa y yuca se puede afirmar que la estructura superficial es mucho mas complicada que la apreciada usando la técnica de microscopia electrónica de barrido (SEM). Para el caso del almidón de papa el largo de la estructura fue del orden de 1 $\mu$ m. En el almidón de yuca muestra una estructura lisa con protuberancias y poros. La Figura 2, ilustra el granulo de almidón de aproximadamente 10 $\mu$ m de diámetro, con una clara superficie rugosa. Los diferenciales de altura para las observaciones fueron de 0,7 $\mu$ m.



**Figura 2. NC-AFM Imagen de un gránulo de almidón de papa (scan 14 x 14  $\mu$ m; diferencia de altura 0,7  $\mu$ m)**

**Fuente: Juszczak *et al.* (2003)**

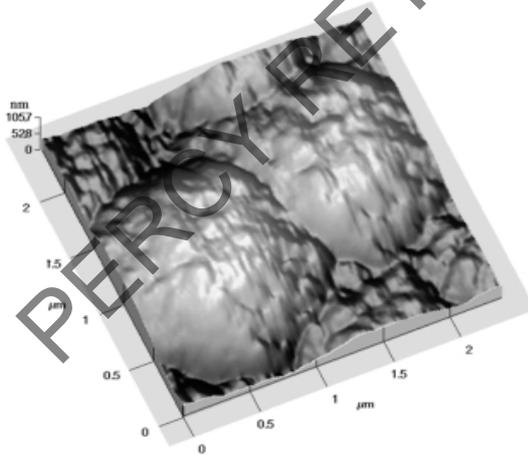
La Figura 3, muestra una parte de la superficie del granulo de almidón de papa, donde el largo de la estructura (tiene un ancho aproximado de 1 $\mu$ m) y se puede apreciar una elevación de nódulos de aproximadamente 300nm



**Figura 3. NC- AFM Imagen de la superficie de un gránulo de almidón de papa (scan 5 x 5μm, diferencia de altura de 0,39μm)**

**Fuente: Juszczak *et al.* (2003)**

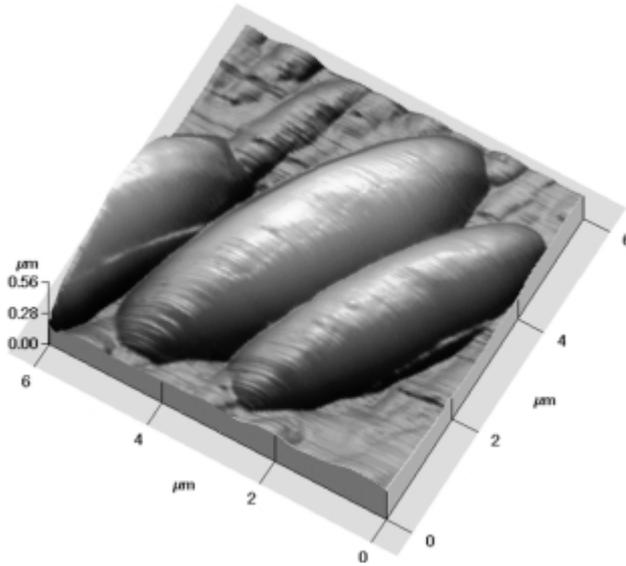
La Figura 4, muestra una imagen en AFM de gránulos de yuca. Estos gránulos evidencian una estructura muy rugosa, pero en una pequeña escala comparada con los gránulos de papa. Asimismo se pueden visualizar pequeñas partes planas y protuberancias.



**Figura 4. NC- AFM Imagen de la superficie de un gránulo de almidón de yuca (scan 2,5 x 2,5μm, diferencia de altura de 105,7μm)**

**Fuente: Juszczak *et al.* (2003)**

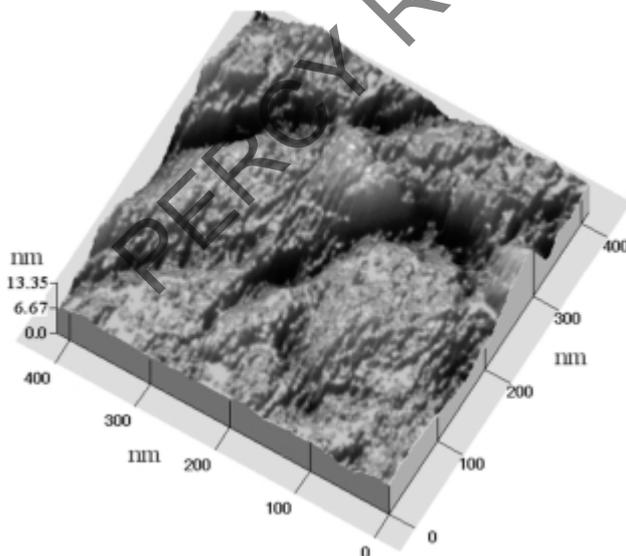
La Figura 5, muestra la imagen microscópica de los gránulos de almidón de cebada. Estos gránulos están caracterizados por su forma alargada y dimensiones de aproximadamente 6-7 x 2μm. Asimismo estos almidones son relativamente lisos.



**Figura 5. AFM Imagen de gránulos de almidón de cebada (scan 6 x 6µm; diferencia de altura 0,56µm)**

**Fuente: Juszczak *et al.* (2003 a)**

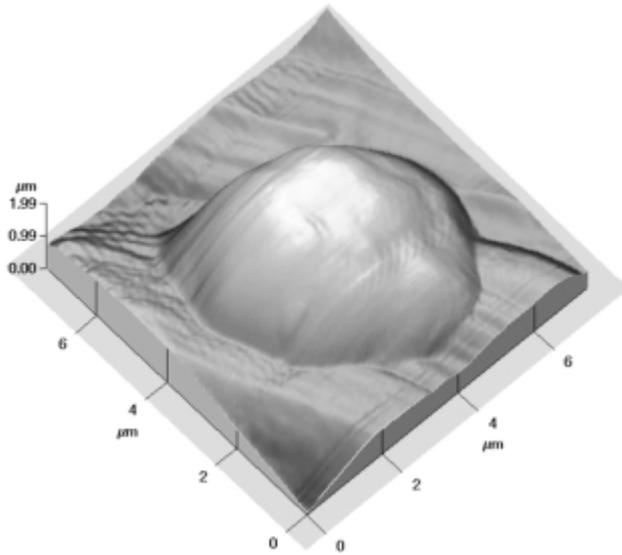
Figura 6, muestra el detalle de la superficie del gránulo de almidón de cebada. En la superficie del gránulo está definida claramente estructura alargadas a manera de agregados, presentes de forma irregular. Entre estos se ubican poros o depresiones.



**Figura 6. AFM Imagen de la superficie de un gránulo de almidón de cebada (scan 400 x 400nm, diferencia de altura de 13,35nm)**

**Fuente: Juszczak *et al.* (2003)**

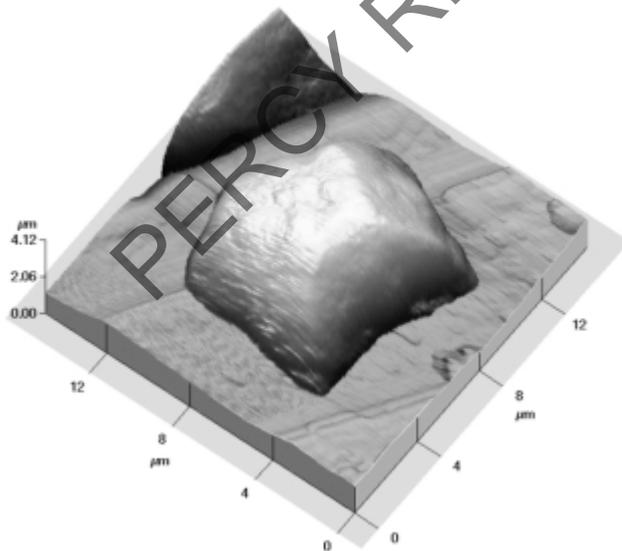
La Figura 7, muestra la superficie de un gránulo de almidón de maíz. Estos tienen una forma regular y un diámetro aproximado de 5µm. Estos muestran superficies lisas, aunque también se puede visualizar algunas irregularidades



**Figura 7. AFM Imagen de un gránulo de almidón de maíz (scan 7 x 7µm; diferencia de altura 1,99µm)**

**Fuente: Juszczak *et al.* (2003 a)**

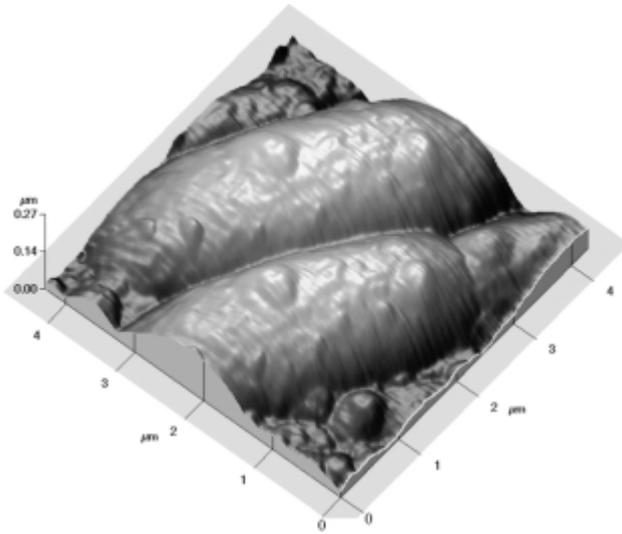
Figura 8, se observa la imagen microscópica del gránulo de almidón proveniente de maíz céreo. Estos gránulos tienen forma de poliedro irregular con un diámetro de 8µm. Esta superficie es ligeramente rugosa, sin poros de tamaño significativo.



**Figura 8. AFM Imagen de un gránulo de almidón de maíz céreo (scan 14 x 14µm; diferencia de altura 4,12µm)**

**Fuente: Juszczak *et al.* (2003 a)**

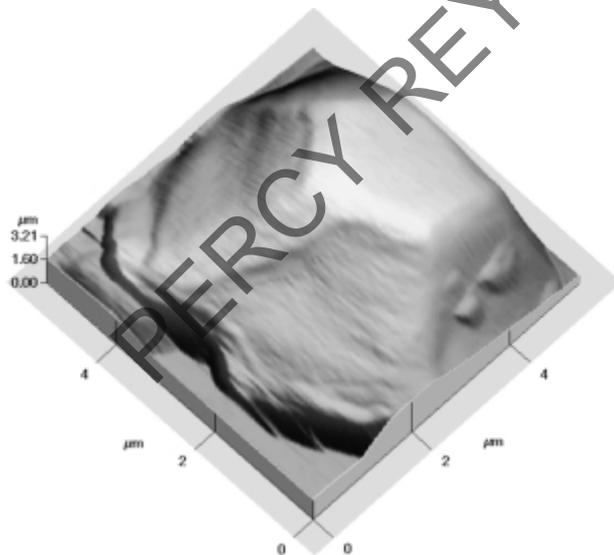
La Figura 9, muestra gránulos de almidón de trigo los cuales tienen forma alargada y una superficie rugosa, con estructuras que se elevan (protuberancias) de la superficie de tamaño menor a 200nm. Se debe precisar que existen gránulos de almidón de trigo lisos.



**Figura 9. AFM Imagen de gránulos de almidón de trigo (scan 4 x 4µm; diferencia de altura 0,27µm)**

**Fuente: Juszczak *et al.* (2003 a)**

En la Figura 10, se muestra la forma poliédrica que es típico de los gránulos de almidón de arroz. El tamaño aproximado es de 6µm. La superficie es relativamente lisa.



**Figura 10. AFM Imagen de un gránulo de almidón de arroz (scan 5 x 5µm; diferencia de altura 3,21µm)**

**Fuente: Juszczak *et al.* (2003 a)**

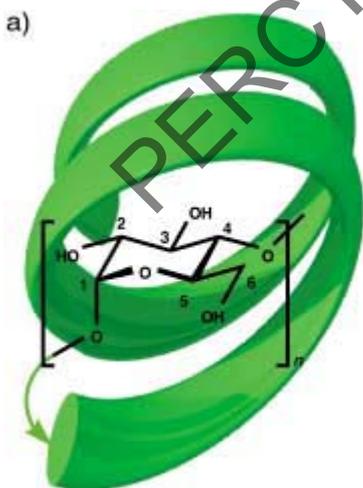
## 2.5 EL GRÁNULO DE ALMIDÓN - NIVEL MOLECULAR

El nivel molecular del gránulo de almidón está referido a la cantidad, estructura interna, tamaño y forma de los polímeros constituyentes.

### 2.5.1 Estructura de la Amilosa

Bul3n *et al.* (1998) y Tester *et al.* (2004) citaron que la amilosa es definida como un pol3mero esencialmente lineal, formado por unidades de  $\alpha$ -D-glucosa unidas en un 99% por enlaces  $\alpha(1\rightarrow4)$  y 1% por enlaces  $\alpha(1\rightarrow6)$ . La amilosa tiene una masa molecular de aproximadamente  $10^5$ - $10^6$  Da, con un grado de polimerizaci3n "GP" 324-4920 (siendo el GP el n3mero de unidades de glucosa que se encuentran unidas en una cadena) con alrededor de 9-20 puntos de ramificaci3n equivalentes a 3-11 cadenas por mol3cula. Cada cadena contiene aproximadamente 200-700 glucosas, equivalentes a una masa molecular de 32400 – 113400 Da.

Star *et al.* (2002) encontraron que las ramificaciones del pol3mero de amilosa se encuentran de manera espaciada y poco frecuente, lo que permite afirmar que la amilosa en soluci3n acuosa se comporta como un pol3mero lineal de conformaci3n helicoidal orientado hacia la izquierda Figura 11.



**Figura 11. Esquema representativo de la conformaci3n helicoidal del pol3mero de amilosa en soluci3n, orientada hacia la izquierda.**

**Fuente: Star *et al.* (2002)**

Bari *et al.* (2003) encontraron que el pol3mero de amilosa puede formar una amplia variedad de estructuras con una o doble configuraci3n helicoidal. Las observaciones de la amilosa en forma cristalina son muy escasas y

muestran arreglos que tienen en común hélices dobles consistentes, con orientación izquierda. Sin embargo Blennow *et al.* (2003) afirman que la amilosa no forma latices (aristas) cristalinos como la amilopectina, pero la amilosa se deposita principalmente como cadenas no cristalinas en el gránulo de almidón.

La hélice de amilosa por vuelta tiene seis unidades de glucosa, formando cadenas paralelas superpuestas, las cuales en el interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por lo tanto de naturaleza lipofílica, mientras que los hidroxilos están situados en el exterior de la hélice. El agua tiene un importante rol en el establecimiento de la estructura tridimensional del almidón.

La amilosa debido a su carácter esencialmente lineal es susceptible de formar una amplia gama de complejos de inclusión. Estos complejos de inclusión se producen como resultado de interacciones hidrofóbicas entre las moléculas huéspedes y la cavidad cilíndrica interna de la hélice de amilosa la que se muestra en la Figura 12. El yodo, ácidos grasos e hidrocarburos son algunos ejemplos de moléculas que pueden formar interacciones con la amilosa (Yu *et al.*, 1996).



**Figura 12. Esquema de representación del complejo azul de amilosa yodo.**

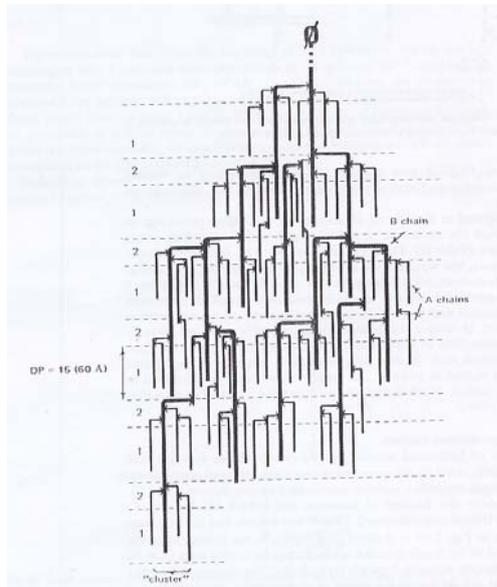
**Fuente: Star *et al.* (2002)**

### 2.5.2 Amilopectina

Tester *et al.* (2004) citan que la amilopectina es un polímero altamente ramificado, el cual es considerado como una de las más grandes biomoléculas conocidas. La amilopectina está formada completamente  $\alpha$ -D-glucosa unidas principalmente por enlaces (1 $\rightarrow$ 4), pero con 5-6% de enlaces (1 $\rightarrow$ 6) en los puntos de ramificación. La amilopectina tiene un peso molecular de aproximadamente ( $10^7$ - $10^9$  Da) pero principalmente fluctúa en  $10^8$  Da.

Las ramificaciones de la amilopectina constan de cientos de cadenas cortas unidas por enlaces  $\alpha$ - (1 $\rightarrow$ 4)- glucosa, quienes están interligados por enlaces  $\alpha$ - (1 $\rightarrow$ 6). La multiplicidad en ramificaciones es una característica común de la amilopectina y del glucógeno (Buléon *et al.*, 1998).

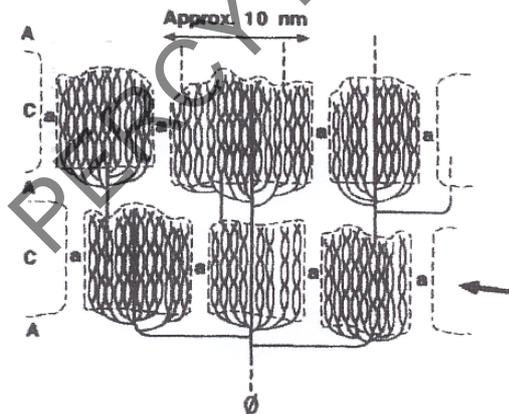
Robin *et al.* (1974) confirmaron el modelo propuesto por (French, 1984) para la estructura de la amilopectina; el cual considera el agrupamiento de las cadenas A y B de la amilopectina, formando zonas cristalinas (Clusters), separadas por una región muy angosta designada como área de ramificación. Esta región de ramificación es considerada como "amorfa" y por lo tanto mucho más susceptible a la hidrólisis ácida. Observando la Figura 13, se puede afirmar que las regiones entre las cadenas laterales de amilopectina deberían también ser considerados como zonas amorfas. En este modelo propuesto, las cadenas A y B son lineales y tienen un grado de polimerización entre 15 a 45 respectivamente. La cadena B forma la columna de la molécula de amilopectina y se extiende sobre dos o más racimos. Cada racimo contiene de dos a cuatro cadenas A estrechamente asociadas. Los racimos asociados de cadena A pueden ser considerados como responsables de las regiones cristalinas dentro del granulo.



**Figura 13. Estructura propuesta para la amilopectina de papa. 1= área compacta, 2= área menos compacta, rica en puntos de ramificación;  $\emptyset$  = unidad reducida.**

**Fuente: Robin *et al.* (1974)**

Gallant *et al.* (1997) proponen un nuevo modelo de mayor complejidad para el polímero de amilopectina, incluyendo en este el estudio presentado Robin *et al.* (1974) el mismo que se visualiza en la Figura 14.



**Figura 14. Diagrama esquemático de la cadena lateral de la amilopectina (clusters) dentro de la micela.**

**C,** micela cristalina (clusters en la cadena lateral de amilopectina, en promedio de 6nm de largo); **A,** micela amorfa (zona de ramificación) con un promedio de 4nm de largo; **a,** región amorfa entre clusters cristalinos.

**Fuente: Gallant *et al.* (1997)**

Este nuevo modelo de la estructura de la amilopectina tiene las siguientes características: a) la estructura de doble hélice de las cadenas laterales de amilopectina; b) Los clusters en las cadenas laterales de la amilopectina son de varios tamaños; c) En cada cadena lateral el cluster puede contener entre 9 a 17 cadenas de doble hélice, cada una con aproximadamente tres vueltas

de doble hélice; d) las cadenas individuales de amilopectina pueden participar en más de un cluster; e) las zonas amorfas están presentes entre la micela cristalina y los clusters de la cadena lateral de la amilopectina; f) la micela no está ordenada, paralela o densidad uniforme; g) Los polímeros de almidón no están necesariamente exactamente alineados hacia un ángulo derecho en dirección de la micela. Por simplicidad, la amilosa, proteína y lípidos no están incluidos en este diagrama, desde que no se conoce aun exactamente la ubicación de estos y su interacción con la amilopectina. La hipótesis que actualmente vigente respecto a la ubicación de la amilosa es sustentada en los estudios (Zobel, 1988; Morrison *et al.* 1994; Jenkins y Donald, 1995 citados por Gallant *et al.* 1997) “la amilosa esta predominante localizado en las zonas amorfas de los gránulos y que el incremento de las interacciones entre la amilosa y la amilopectina en estas regiones causa en estas el decrecimiento de la cristalinidad.

En la Cuadro 2 presentamos un resumen y comparación de las estructuras de los polímeros de amilosa y amilopectina.

**Cuadro 2. Comparación de las Estructuras de Amilosa y Amilopectina**

Características	Amilosa	Amilopectina
Porcentaje en peso en el gránulo	15-35%	65-85%
Porcentaje de ramificaciones $\alpha$ (1→6).	<1%	4-6%
Masa molecular (Da)	$10^5$ - $10^6$	$10^7$ - $10^9$
Grado de polimerización de toda molécula	324-4920	$10^3$ - $10^4$
Largo de cadena	3-1000	3-50

Fuente: Tester *et al.* (2004)

### 2.5.3 Relación Amilosa Amilopectina

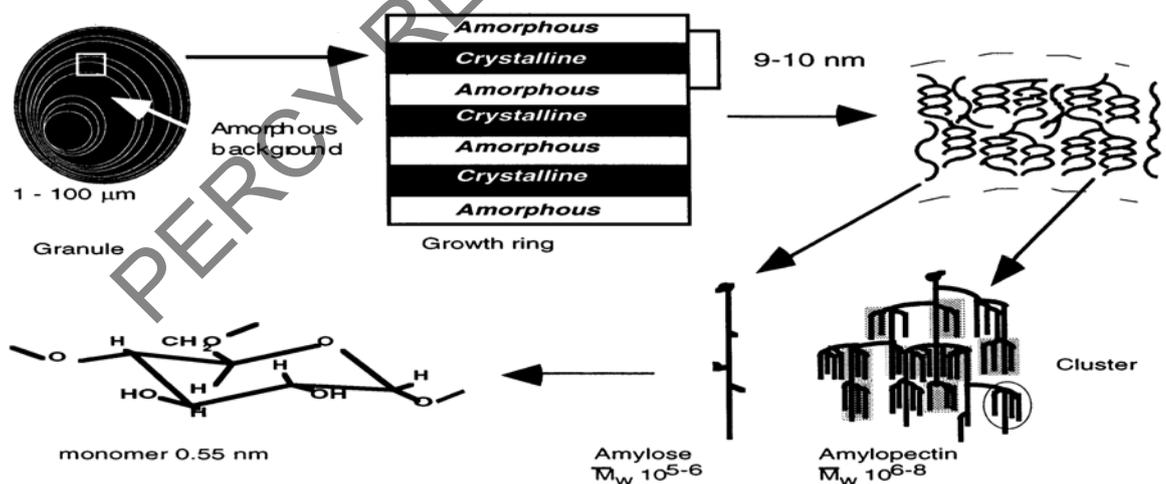
Slaterry *et al.* (2000) citan que la cantidad relativa de amilosa y amilopectina presentes en el almidón es una de las propiedades físico químicas que condiciona la funcionalidad específica, pudiendo tener importancia biotecnológica. A continuación se citan algunos ejemplos de la importancia de la proporción amilosa amilopectina, almidones con alta proporción de amilosa son usados en productos snacks para crear la crujencia. El uso de almidones de alta proporción de amilosa impiden la penetración del aceite durante la fritura a manera de barrera; estos almidones son también empleados como espesantes, siendo fuertes agentes gelificantes usado en la producción geles y confieren rápido cuajado, asimismo se les emplea en la producción de caramelos. Algunos tipos de películas fotográficas también tienen un componente de almidón por que el almidón con alta amilasa tiene características tales como transparencia, flexibilidad, resistencia al agua y a la fuerza de tensión. Altos niveles de amilosa presentan problemas de retrogradación, lo cual ocurre cuando el almidón se recristaliza.

Almidones con alta amilopectina son generalmente usados en la industria de alimentos para mejorar la uniformidad, estabilidad y textura. La amilopectina también imparte una mejor estabilidad en el congelado y descongelado de alimentos. En la industria del papel, se le emplea por sus propiedades de enlace que mejoran la fuerza del papel y las propiedades de impresión referidas a la penetración de tintas. La industria de adhesivos, utiliza almidones con altos niveles de amilopectina (propiedades de enlace), para lograr una buena adhesividad, especialmente en etiquetas para botellas, las cuales frecuentemente están expuestas en ambientes de alta humedad. Asimismo estos almidones tienen aplicación en la industria de alimentación de ganado (Slaterry *et al.* 2000).

### 2.5.4 Organización granular del almidón

Smith *et al.* (1997) citan que la estructura básica del gránulo de almidón es sustentada mediante empaquetamientos del polímero de amilopectina organizada en grupos. Esta organización de estas cadenas dentro de los gránulos de almidón muestran un ordenamiento radial (los polímeros se depositan en capas sucesivas alrededor de un hilio central formando capas compactas) exponiendo los puntos finales no reducidos de la cadena hacia la superficie del gránulo de almidón; esta organización interna considera una alternancia de micelas cristalinas y amorfas con una periodicidad de 9nm. La Figura 15 muestra un esquema de representación de la arquitectura del gránulo de almidón.

**Figura 15. Representación esquemática de los diferentes niveles estructurales del gránulo de almidón que incluye a la amilosa y a la amilopectina.**



Fuente: Smith *et al.* (1997)

Blennow *et al.* (2003) encontraron que en el gránulo de almidón, las dobles hélices de amilopectina tienen 5-8nm de longitud y las dos cadenas en una doble hélice están juntas y por eso estabiliza el lado reductor, mediante los puntos de ramificación  $\alpha$ - 1, 6. Estas dobles hélices pueden estar

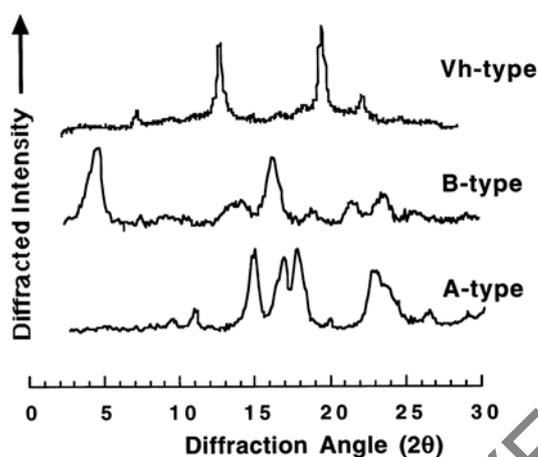
consideradas como paquetes mesógenos estables en el gránulo, debido a que en la micela cristalina concéntrica es interrumpida por los puntos de ramificación (zona amorfa) cada 1-4nm.

Cuando los gránulos de almidón son observados bajo la luz polarizada, una cruz característica (centrada en el hilio) es vista como un distintivo primario de los gránulos de almidón que empiezan hacer considerados como esferocristales distorsionados. El signo de la birrefringencia es positivo con respecto a los radios de los esferocristales ( $n_e - n_o = 0.015$ ) los cuales teóricamente indican que la orientación promedio de las cadenas de polímeros es radial. La intensidad de la birrefringencia depende de la forma y en la orientación de los gránulos vistos con el rayo de luz. Por lo tanto, para los gránulos no esféricos, esto es más preciso decir que la orientación es perpendicular a los anillos de crecimiento y la superficie del granulo (French, 1984).

En la actualidad es ampliamente aceptado que el polímero de amilopectina (el cual comprende alrededor del 75% de la composición del granulo de almidón en almidones no mutantes) es predominantemente responsable de la cristalinidad de los gránulos. La cristalinidad de los gránulos es alrededor de 15-45% y puede estar caracterizada dentro de tres principales patrones de difracción (Tipo A, B ó C) como un resultado de diferentes empaquetamientos en la cadena lateral del polímero de amilopectina (Gallant *et al.*, 1997).

Los gránulos nativos de almidón exhiben dos tipos de patrones de difracción de rayos-X los mismos que se observan en la Figura 16. El tipo A correspondiente a almidón de cereales y el tipo B para tubérculos y almidones ricos en amilosa. El tipo C, es una mezcla de los diagramas tipo A y tipo B, es característico de almidón de muchas leguminosas y también de cereales en crecimiento en condiciones específicas de temperatura e hidratación. La forma cristalina tipo Vh, característico de los complejos de

amilosa con ácidos grasos y monoglicéridos quienes empiezan a estar visibles en la gelatinización del almidón, es raramente detectado en almidones nativos, aunque la presencia de este se demuestra usando NMR estado sólido. Complejos amorfos lípido - amilosa están presentes en almidones nativos de maíz, arroz y avena (Buléon *et al.*, 1998).



**Figura 16.** Diagramas de difracción de rayos X de almidones tipos A, B y Vh.

**Fuente:** Buléon *et al.*, 1998

## 2.6. Gelatinización del almidón

Tester y Debon (2000) citan que la gelatinización es un importante término usado para describir los eventos moleculares asociados con el calentamiento del almidón en agua. Desde el punto de vista tecnológico (Biliaderis *et al.*, 1980) refieren que la gelatinización es un importante fenómeno que ocurre en varias operaciones de procesado de alimentos; procesos tales como de panificación, extrusión de cereales, espesantes y geles de salsas, coberturas de queques son todos dependientes de la propiedad de gelatinización del almidón.

La importancia de gelatinización para los alimentos puede ser enfocada desde el punto de vista nutricional. Tester y Debon (2000) manifiestan que producto de la gelatinización el almidón es convertido de una forma cristalina relativamente indigestible hacia una forma amorfa digestible. Asimismo Di

Paola *et al.* (2003) citan que el grado de gelatinización es un importante factor en la velocidad de digestión del almidón en el intestino delgado determinado la respuesta glicémica; desde cocinado de los alimentos se incrementa considerablemente la susceptibilidad enzimática. Así también conociendo el grado de gelatinización, la digestibilidad del almidón a nivel del intestino delgado puede ser inferida; la disrupción molecular es proporcional a la digestión enzimática y responsable del metabolismo

Singh *et al.* (2003) citan que la gelatinización se inicia en el hilio de los gránulos de almidón (regiones amorfas) y el rápido hinchamiento provoca el traslado hacia la periferia (regiones cristalinas). Se inicia en el hilio debido a que el enlace hidrógeno es débil en dicha área en comparación a la zona cristalina; por lo que se produce la transición vítrea - gomosa que precede a la gelatinización (siendo afectada por la ausencia / presencia de amilosa en los gránulos de almidón). La gelatinización y el hinchamiento de los gránulos de almidón, están gobernados parcialmente por las siguientes propiedades: la estructura molecular de la amilopectina (largo de la cadena unitaria, extensión de la ramificación, peso molecular y la polidispersidad); la composición del almidón (proporción amilosa amilopectina y contenido de fósforo); y la arquitectura del gránulo (proporción cristalinidad amorfo)

Liu *et al.* (2002) observaron las fases que se suceden durante la gelatinización de los gránulos de almidón de papa, bajo el patrón de luz polarizada empleando un microscopio óptico; siendo esta secuencia la siguiente: 1) A 32° C y 82% de humedad los granulos de almidón muestran un ligero hinchamiento, manteniendo su birrefringencia y la Cruz de Malta característica. 2) A 50° C el hinchamiento de los gránulos individuales es reversible. 3) Sobre los 50° C el hinchamiento es acompañado por la ruptura de los gránulos y pérdida de la birrefringencia.

Greewood (1979) citado por Liu *et al.* (2002) manifiestan que la birrefringencia es un indicador del alto grado de orientación molecular

dentro de los gránulos de almidón, sin hacer referencia a ninguna forma cristalina, y la pérdida de birrefringencia indica que la orientación molecular dentro de los gránulos de almidón no existe. Para almidón de papa la pérdida de birrefringencia se inicia aproximadamente a los 50° C. La orientación regular de las unidades D-glucosa en las regiones amorfas y cristalinas pueden desaparecer sobre esta temperatura y consecuentemente comienza la irreversibilidad del hinchamiento (el patrón característico de la Cruz de Malta desaparece en las observaciones con el microscopio óptico). Los gránulos hinchados participan en la red debido a la ruptura de los enlaces intramolecular de hidrógeno y formando una transparente y viscosa solución.

Liu *et al.* (2002) citan que la gelatinización del almidón involucra cambios, que inicialmente los gránulos de almidón se encuentran un estado ordenado (cristalino) y luego con el incremento de la temperatura se suceden diversos eventos que desencadenan un estado desordenado (amorfo); debido a que en un inicio, los gránulos de almidón se mantienen juntos mediante enlaces hidrógeno y enlaces hidrofóbicos entre cadenas; el incremento de la temperatura sobre los 66° C, produce una reducción abrupta de la cristalinidad lo que se traduce en una ruptura de la estructura organizacional del gránulo de almidón. Asimismo la reducción de la cristalinidad, es consecuencia de la pérdida del rango de ordenamiento longitudinal de la estructura de doble hélice (amilopectina). Buléon *et al.* (1998) citan que “la amilopectina usualmente tiene la mayor responsabilidad de las regiones cristalinas en el almidón y tiene conformación de doble hélice”. La pérdida de cristalinidad se explica en la destrucción de los enlaces hidrógeno, con lo cual las moléculas de agua que dan unidas a los grupos hidróxilo del almidón. La liberación de material se evidencia fundamentalmente en la existencia de amilosa en el gránulo de almidón, estos polímeros lineales se difunden al exterior del gránulo hinchado durante y después de la gelatinización originando una fase continua de gel en el exterior de los gránulos.

Singh *et al.* (2003) encontraron que las temperaturas de gelatinización y las entalpías asociadas a la gelatinización endotérmica varían entre los almidones de diferentes fuentes botánicas. Las diferencias en las temperaturas de transición entre los diferentes almidones probablemente están atribuidas a los diferentes grados de cristalinidad. Las altas temperaturas de transición fueron reportadas como resultado de altos grados de cristalinidad, los cuales provistos de una estructura estable hacen más resistentes a los gránulos hacia la gelatinización.

Debido que la gelatinización del almidón es un proceso endotérmico, es muy utilizada la técnica de calorimetría diferencial de barrido, con sus iniciales en el idioma inglés (DSC). Esta técnica mide la temperatura y la entalpía de la gelatinización; la temperatura pico obtenida en estos estudios esta referida a la calidad del cristal (largo de la doble hélice). La entalpía referida a la gelatinización entrega una medida global de la cristalinidad (calidad y cantidad) y es un indicador de la pérdida del orden molecular interno de los gránulos. Se debe tener presente que la forma de los gránulos de almidón; el porcentaje de gránulos grandes y pequeños y la presencia de esteres fosfatos afectan los valores de entalpía de gelatinización. Asimismo las variaciones en las temperaturas de inicio; las entalpías de gelatinización y rango de temperaturas de gelatinización en almidones provenientes de diferentes cultivares, pueden ser debido a la diferencia en cantidad de las cadenas largas en las amilopectinas. Estas cadenas largas requieren de una alta temperatura para disociar completamente, comparativamente con la requeridas por las doble hélice cortas. Los parámetros de DSC están influenciados por la arquitectura molecular de las regiones cristalinas, los cuales corresponden a la distribución de las cadenas cortas en la amilopectina. La amilopectina tiene una mayor contribución a la cristalinidad del gránulo de almidón, la presencia de amilosa disminuye la temperatura derretimiento de los sólidos a líquidos y la energía necesaria para el inicio de la gelatinización. Mayor energía es necesaria para iniciar del derretimiento

en ausencia de las regiones amorfas ricas en amilosa. Esta correlación indica que el almidón con mayor contenido de amilosa tiene una mayor región amorfa y menos regiones cristalinas, los cuales disminuyen la temperatura de gelatinización (Singh *et al.*, 2003).

Calzetta y Suárez (2001) citan un significativo decrecimiento en el grado de gelatinización en relación a la disminución del contenido de humedad del almidón, asimismo afirmaron que la velocidad de difusión del agua dentro de los gránulos de almidón de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) es insignificante, y que la velocidad de la gelatinización es limitada por la velocidad de las reacciones químicas de los componentes del almidón. Estas afirmaciones fueron posibles mediante la técnica DSC.

Paredes – López *et al.* (1994) determinaron una baja temperatura de gelatinización y entalpía en el almidón aislado de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Adicionalmente reportaron que la amilopectina proveniente de la misma especie botánica presentó una baja tendencia a retrogradar. La amilopectina de amaranto no evidenció gelatinización endotérmica; siendo atribuida a cambios estructurales durante el aislamiento del almidón.

Di Paola *et al.* (2003) citan varios métodos para el estudio del proceso de gelatinización del almidón; por ejemplo el hinchamiento de gránulos, capacidad de retención de agua, solubilidad, viscosidad de la pasta, birrefringencia, resonancia magnética nuclear (por sus iniciales en el idioma inglés NMR), patrón de difracción de rayos X, calorimetría diferencial de barrido (DSC), conductividad eléctrica y especificidad enzimática. El aspecto más fácilmente cuantificable del comportamiento de los gránulos de almidón durante el calentamiento, involucra la pérdida de birrefringencia (cuantificación mediante microscopía de luz polarizada), pérdida de la estructura de doble hélice (cuantificada mediante NMR), pérdida de la cristalinidad (cuantificada mediante difracción de rayos X) y derretido interno

(cuantificada mediante DSC). Todos estos cambios son relacionados al colapso del orden molecular y deberían ser considerados como medios de monitoreo de diferentes aspectos de la gelatinización. La cuantificación del poder de hinchamiento de los gránulos de almidón, solubilización molecular y la pérdida de la integridad granular es muy problemática y es generalmente basado en algunas pruebas empíricas. Históricamente la pérdida de birrefringencia fue la más ampliamente usada pero esta prueba es laboriosa y esta sujeta a errores, por que los gránulos de almidón al contar en mixturas heterogéneas y al no poder ser fácilmente separado a partir de otros componentes en el material sometido al calor causa errores.

## **2.7 Retrogradación del almidón.**

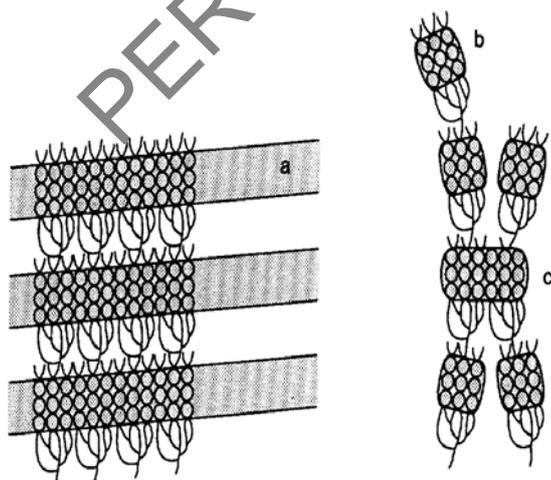
La retrogradación es un complejo proceso que es afectado por muchos factores que provocan la insolubilidad del almidón disuelto; resultando en la reasociación de los polímeros constituyentes del almidón después de gelatinizado y mantenido en almacenamiento bajo frío.

Los polímeros constituyentes del almidón en la pasta o el gel se asocian o conocido también como envejecimiento, resultando efectos semejantes como la precipitación, gelación, cambios en la consistencia y la opacidad. Eventualmente empieza formando cristales y a la vez se produce un incremento gradual en la rigidez y separación de las fases entre polímeros y solventes (sinéresis). Es importante distinguir entre el período corto de desarrollo de la estructura del gel mediante la cristalización de la amilosa y el período largo de reordenamiento de la amilopectina, el cual es un lento proceso que involucra la recristalización de las ramificaciones exteriores (GP =15) de este polímero (Karim *et al.*, 2000).

Mua y Jackson (1998) refieren que el mecanismo que inicia la retrogradación depende del peso molecular y se extiende a las ramificaciones moleculares.

Durante el almacenamiento de geles de almidón totalmente desordenados (gelatinizados), las ramificaciones del polímero de amylopectina forman doble hélice que empiezan a ordenarse en clusters semi – cristalinos. El tamaño de estos cristales dominantes es pequeño en los almidones nativos y probablemente limitados principalmente por las cadenas laterales de una cadena principal. La estructura hélice presente en el almidón nativo no se recobra durante la retrogradación (Keetels *et al.*, 1996).

Una relación cercana entre la recristalización de la amylopectina y la rigidez de los geles concentrados fue observada mediante la técnica de DSC para posteriormente proponer el modelo esquemático observado en la Figura 17. Dos procesos distintos explican principalmente el incremento de la rigidez que acompaña a la recristalización. El primero la formación de clusters cristalinos a lo largo de las cadenas de glucanos del polímero de amylopectina, los cuales producen rigidez en las hebras constituyentes de la alambrada. El segundo proceso es la formación de enlaces cruzados entre los clusters adyacentes. Ambos mecanismos pueden jugar un rol simultáneo (Keetels *et al.*, 1996).



**Figura 17. Modelo esquemático para la amylopectina en el almidón nativo y la retrogradación del almidón.** En el almidón nativo las dobles hélices están arregladas dentro de una delgada micela dominante (a). En el almidón retrogradado, las dobles hélices empiezan a formar pequeños clusters de cadenas lineales de glucanos  $\alpha$ -(1→4) (b). Probablemente los clusters en las cadenas ordenadas adyacentes formen enlaces cruzados físicos entre las moléculas de amilosa (c).

**Fuente:** Keetels *et al.* (1996)

Los efectos de la retrogradación en productos basados en almidón pueden ser deseables o muy usualmente indeseables. Hay un consenso general que la retrogradación contribuye significativamente para la no frescura o la firmeza indeseable del pan y otros productos basados en almidón. De igual manera, la susceptibilidad de los geles de almidón de leguminosas para la retrogradación y sinéresis hacen que estos tipos de almidones no se han adecuado para productos que requieren baja temperatura de almacenamiento. De cualquier manera, la retrogradación es muchas algunas veces promovida para modificar la estructura, las propiedades mecánicas y organolépticas de ciertos productos basados en almidón. Esto es real, por ejemplo, en la producción de cereales para el desayuno y arroz parbolizado, como consecuencia de la retrogradación se logra endurecimiento y reduciendo lo pastoso. La congelación / descongelación los cuales aceleran la retrogradación, es aplicado al puré de papas cocinado en la producción de puré de papas deshidratado para disminuir la cantidad de almidón soluble y para mejorar la consistencia del producto reconstituido. La producción de fideos japoneses de nombre "harusame" también involucran un ciclo de congelación y descongelación para reducir lo pastoso y obtener características masticables (Karim *et al.*, 2000).

Los métodos para estudiar la retrogradación del almidón pueden estar convenientemente clasificados como: a) técnicas macroscópicas. Estos métodos los cuales monitorean las alteraciones en ciertas propiedades físicas como manifestaciones de retrogradación por ejemplo cambios mecánicos o texturales, y b) técnicas moleculares. Estos métodos los cuales estudian cambios en la conformación de los polímeros del almidón o movilidad del agua en los geles de almidón en los niveles moleculares. Estas técnicas reológicas, evaluación sensorial de textura, calorimetría diferencial de barrido (DSC), light scattering, turbidimetría, y mediciones de sinéresis pueden ser usadas para el estudio de las manifestaciones macroscópicas de la retrogradación. Por un lado difracción de X- rayos, espectroscopia de resonancia magnética nuclear (NMR), espectroscopia vibracional

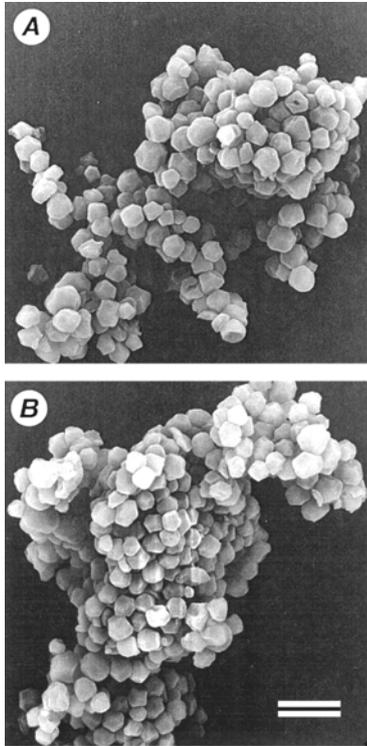
(espectroscopia Raman) Infrared Transformada de Fourier (FTIR) espectroscopia pueden estar clasificadas como técnicas moleculares. En todos los casos, la inclusión de la microcomputadoras en estas tecnologías incrementa la sofisticación de los diseños instrumentales incrementando la precisión, resolución, rapidez de análisis, y el rango de capacidad de algunas técnicas.

## 2.8 Aislado de almidón

Los procesos de extracción de almidón de cereales son denominados de molienda húmeda ya precisamente el grano se remoja en soluciones con diversos compuestos químicos que ayudan a romper la estructura de la matriz proteica, que esta íntimamente ligada con los gránulos de almidón. Además, se usa agua como vehículo para lograr la conducción, separación y purificación de este importante carbohidrato (Serna, 1996).

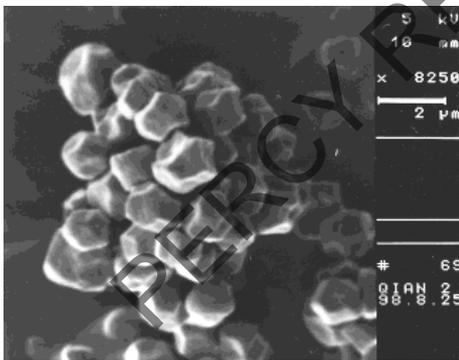
Una vez logrado la hidratación de los granos de cereales la obtención del almidón continuará mediante un procedimiento que contempla las siguientes etapas: trituración, cribado, centrifugación y secado (Linden y Lorient, 1996).

Badui (1996) menciona que el remojo de los granos se debe realizar en una solución que contiene 0,1 a 0,2% de anhídrido sulfuroso por un período de 24 a 48 horas. El anhídrido sulfuroso suaviza la estructura del grano del cereal, impide su germinación, solubiliza algunos compuestos y promueve el desarrollo de bacterias del género *Lactobacillus*, El tratamiento con anhídrido sulfuroso aunado a la fermentación, propicia que los enlaces o puentes bisulfuro se reduzcan o rompan debilitando a la estructura de la matriz proteica que rodea y retiene los gránulos de almidón (Serna, 1996). En las Figuras 18 y 19 se muestra almidón aislado de granos de *Amaranthus pumilus*, *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus*.



**Figura 18.** Micro fotografías de almidón aislado de granos (A) *Amaranthus pumilus* y (B) *Amaranthus hypochondriacus* aumentadas 2500 veces. Barra representa 3,0  $\mu\text{m}$ ).

Fuente: Marcone (2000)



**Figura 19.** Micro fotografía de almidón aislado de granos *Amaranthus cruentus*. Barra representa 2,0  $\mu\text{m}$

Fuente: Qian y Kuhn (1999)

### 2.8.1 Rendimiento

Betancur – Ancona *et al.* (2001) afirman que el rendimiento de la extracción del almidón se expresa como el cociente (peso de la fracción aislada entre el peso de la harina integral de kiwicha, ambos expresados en base seca) multiplicado por 100. En todos los casos se debe precisar los componentes del cociente, debido a que algunos investigadores suelen definirlo como almidón recuperado lo cual genera distorsión al momento de realizar

comparaciones. Asimismo el rendimiento esta en función de la tecnología de extracción utilizada (Hurtado, 1997).

### **2.8.2 Almidón recuperado**

Choi *et al.* (2004) afirman que el almidón recuperado es el cociente del almidón aislado (g) entre el almidón total (g) presente en la muestra. Otros investigadores emplean el concepto de tasa de extracción o grado de extracción para referirse al almidón recuperado. La tasa de extracción del almidón, representa la facilidad de liberación de los gránulos de almidón después de la molienda y extracción con agua (Hurtado, 1997)

### **2.8.3 Pureza**

Durante el proceso de extracción del almidón se retiran con los fluidos de trabajo un conjunto de compuestos no amiláceos (fibra, proteína, grasa y cenizas) asimismo también se registran pérdidas de almidón. Las proporciones remanentes (impurezas) de estos compuestos no amiláceos esta en función de la composición inicial de la fuente, de la forma de extracción del almidón (sedimentación, centrifugación) y la técnica de purificación empleada después de este proceso. Estas impurezas presentes en el almidón son de importancia por las repercusiones que tienen en las propiedades fisicoquímica, funcionales y en la calidad sensorial de los almidones.

Hurtado (1997) encontró que la pureza en los almidones de cereales esta comprendida entre 92,0 (sorgo) a 96,5 g /100g b.s.; de almidón (arroz, maíz y maíz céreo). La pureza de los almidones nativos de uso industrial (arroz, maíz y papa) es superior a 96,0% y en los almidones modificados el tratamiento parece influir en la cuantificación de su pureza. Por otra parte la pureza de almidones de las fuentes no amiláceas no cereales se halla entre 90 (achira raizuda, árbol del pan) a 99 g/100g b.s., de almidón (sagu).

## 2.9 Color

Francis y Clydesdale (1975) citados por Jiménez y Gutiérrez (2001) refieren que el color en el sentido físico, es la distribución de energía de una luz reflejada o transmitida por un alimento en particular. Esta energía está implícita en el espectro electromagnético continuo, en intervalos que van desde longitudes de onda ( $\lambda$ ) desde  $10^{-5}$ nm hasta  $\lambda$  de  $10^{17}$ nm. Sin embargo, sólo la energía que corresponde al espectro visible es la que contribuye a la percepción del color (380 a 770nm).

La existencia del color exige la conjunción de tres circunstancias: una fuente de iluminación, un objeto que interactúe con la luz procedente de dicha fuente y el ojo humano para observar el efecto resultante. En ausencia de cualquiera de estos se puede decir que el color no existe (Christie, 2003).

### 2.9.1 Especificación del color

Todo color tiene tres cualidades o factores que lo definen estos son: Hue, Saturación y Luminosidad.

**Hue** es el atributo por el cual un color es identificable como rojo, amarillo, verde, etc. **Saturación** es la proporción del contenido de chroma en el total de la percepción, refiriéndose si su tinte está pronunciado o atenuado, por lo tanto indica el grado de color puro que sea mezclado con el blanco. **Luminosidad (Value)** es la aparente proporción de brillantez reflejada o transmitida por un objeto en una escala de blanco o decolorado hacia negro (Little, 1976)

### 2.9.2 La Escala CIE

La CIE (Comisión Internationale des l' Eclairage) definió el color en términos absolutos empleando estándares. Estos fueron establecidos sobre

la base de la teoría del ojo humano, el cual posee receptores para los tres colores primarios (rojo "R", verde "V" y azul "B"). Mezclando cantidades apropiadas de los tres colores primarios, se pueden obtener un gran número de colores. Siendo P la mezcla aditiva, por lo tanto se logra siguiente igualación  $P = R + V + A$ , algunos casos un componente primario intervenía con una contribución negativa, para salvar esta situación poco inteligible, la CIE propuso colores primarios ideales X, Y, Z, deducidos matemáticamente de los colores primarios reales. Los valores de estos colores primarios ideales la CIE los denomina valores triestímulo, que viene hacer la cantidad de cada color primario ideal necesarios para igualar a un color problema (Calvo y Durán, 1997).

Clydesdale (1969) afirma que la CIE eligió el parámetro Y (perteneciente a los tres valores triestímulo) para que corresponda exactamente con la curva de visibilidad del ojo humano (curva del observador patrón), por lo tanto los valores de Y están referidos a la claridad. La evaluación de la cromaticidad se define las coordenadas de cromaticidad: x, y, z; las cuales se obtienen al expresar los valores triestímulo (X, Y, Z) como fracciones de su suma total tal como:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

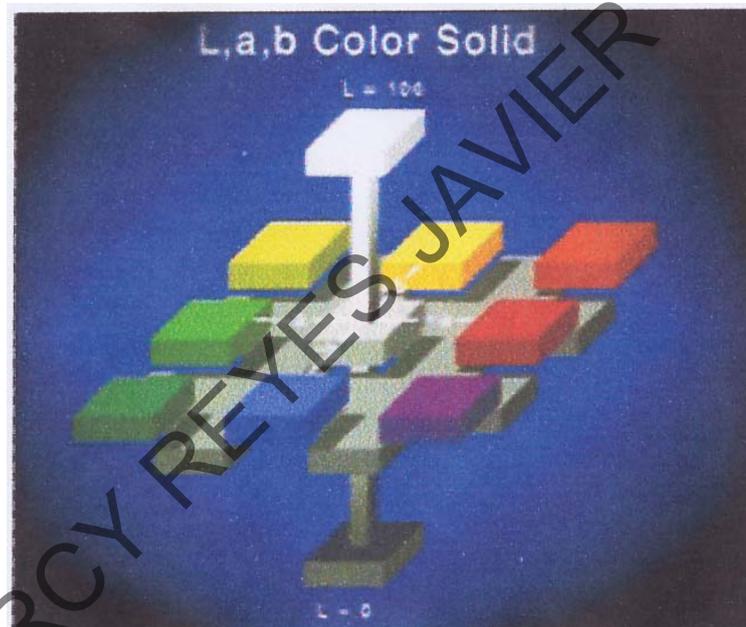
### 2.9.3 La Escala Hunter

Little (1976) menciona que la escala Hunter es la transformación de la escala CIE dentro de una percepción espacial uniforme del color, incorporando al espacio de Munsell.

Este sistema definió tres nuevas coordenadas: claridad (**L**); cromaticidad (**a**) correspondiente al componente rojo - verde para valores positivo y negativo

respectivamente y **(b)** para el componente amarillo - azul, de igual manera para los valores positivos y negativos. La saturación está dada por la separación en el centro del sistema tridimensional, como se muestra en la Figura 20.

**Figura 20. Espacio del Color Expresado en el Escala Hunter**



Fuente: Good (2004)

Existe una relación directa entre los valores triestímulo X, Y, Z con L, a y b mediante las siguientes expresiones matemáticas:

$$L = 10 * Y^{0,5}; \quad a = [17,5 * (1,02 * X - Y)] / Y^{0,5}; \quad b = [7,0 * (Y - 0,847 * Z)] / Y^{0,5}$$

#### 2.9.4 El color blanco

Es el color con alto value y no chroma, es necesario en todas las aplicaciones donde la visibilidad y el contraste son necesarios.

### 2.9.5 Índice de blancura (W)

Zarubica *et al.* (2005) citan que la blancura es un atributo por el cual un objeto es juzgado por su aproximación al color blanco. Estadios iniciales de blancura son definidos como opuestos al amarillamiento, estos objetos muestran blancura presentes en hue “azul”. Los cálculos de índice de blancura usando valores triestímulos son expresados como:

$$W_{(\text{Hunter})} = L - 3b \qquad W_{(\text{CIE})} = Y + 800(0,3138 - x) + 1700(0,3310 - y)$$

El presente estudio se realizó con índices de blancura provenientes de las escalas Hunter y CIE expresados en porcentaje.

### 2.9.6 El color como parámetro de calidad

El color ocupa un lugar preferente entre los factores que definen la calidad de los alimentos. Un alimento puede ser rechazado por su color sin valorarse otras propiedades, como la textura, el sabor y el aroma. Es frecuente relacionar este parámetro con el grado de maduración, la aplicación de un tratamiento tecnológico o con el comienzo de una alteración por microorganismos (Frau *et al.*, 2000).

Kramer (1976) cita que la medición del color puede ser usado para el control de los atributos de la calidad que dan color. Rohm y Jarros (1997) citados por Frau *et al.* (2000) encontraron la influencia de la composición química sobre el color del queso Emmnetal, empleando el índice  $Y_i$  [ $Y_i = 100 (1,301X - 1,149 Z) / Y$ ]. Asimismo el Departamento de Química de la Universidad de las Islas Baleares propuso la utilización del índice Z (%) como parámetro representativo del color en los estudios realizados sobre queso Mahón. Este parámetro demostró ser valido para llevar a cabo su caracterización.

Para el caso de almidones provenientes de raíces de yuca, estos tienen un buen color blanco, si es que la piel y los anillos fueron removidos antes del prensado. Diferentes químicos (ácidos, bisulfitos, etc) son ocasionalmente empleados para mejorar el color del almidón, pero estos químicos afectan negativamente la calidad. Los ácidos orgánicos también mejoran el color a bajas concentraciones. El uso de amonio puede considerablemente mejorar el color de almidones de *Colocasia* sp. Mejoras en el proceso de extracción del almidón, reemplazo del método convencional de secado solar y el uso de separación mediante centrifuga pueden mejorar el color y su apariencia (Moorthy, 2002).

## **2.10 Estudio de la pasta elaborada con almidón**

El estudio de la pasta elaborada con almidón permite evaluar las aplicaciones tecnológicas, mediante la determinación de sus propiedades físicas.

### **2.10.1 Congelación y descongelación**

La capacidad del almidón para resistir los cambios físicos indeseables durante el congelado y descongelado es nombrado comúnmente con el término estabilidad “congelación – descongelación” y puede ser usado como un indicador de la tendencia del almidón a retrogradar (Shoch, 1968 citado por Karim *et al.*, 2000). Cuando la pasta de almidón o gel es congelada, ocurre una separación de fases con la formación de cristales de hielo. En la descongelación, la pasta o gel continuará estando compuesta de una fase rica en almidón y otra acuosa deficiente en almidón. La extensión de separación de fases es incrementada mediante el aumento del número de ciclos de congelación y descongelación esperándose un incremento en la retrogradación de la amilopectina que pertenece a la fase rica en almidón. El agua exudada proveniente del gel, es conocido como sinerisis. Esto es

visto desfavorablemente como deterioro del producto. La cantidad de sinéresis es directamente relacionada con la tendencia del almidón a retrogradar.

La estabilidad de la congelación – descongelación puede ser evaluada simplemente mediante mediciones gravimétricas del agua separada (sinéresis) proveniente de la pasta de almidón o gel o los productos con contenidos de almidón (metodología se detalló en el capítulo materiales y métodos).

Yuan y Thompson (1998) citados por Karim *et al.* (2000) manifiestan que la estabilidad de las pastas de almidón pueden ser evaluadas mediante la medición de la sinéresis de los mismos luego de un número fijo de ciclos de congelación - descongelación y mediante la fuerza centrífuga.

El procedimiento para determinar la estabilidad de los almidones mediante los ciclos de congelación – descongelación basada en la medición de la sinéresis no está estandarizado. Por ejemplo la medición de la sinéresis puede involucrar diversas técnicas de separación, la fuerza de centrifugación, velocidad de la temperatura de congelación, duración de la congelación y el número de ciclos de congelación – descongelación. Alguno de estos parámetros puede influenciar el curso de la retrogradación significativamente sin embargo otros pueden ser de menor importancia. La velocidad de congelación de las pastas incrementa el número de asociaciones moleculares y precipitación. Consecuentemente puede existir confusión al comparar datos provenientes de otras investigaciones (Jacobson y Be Millar, 1998 citados por Karim *et al.*, 2000).

### **2.10.2 Índices de solubilidad y Poder de Hinchamiento**

Whistler (1984) citado por Cenzano (1996) cita que la gelatinización de los gránulos de almidón esta en función de la temperatura. El grado de hinchamiento y solubilidad del gránulo es utilizado para la caracterización de los almidones, mediante el desarrollo de curvas en el rango de temperaturas de 65 – 95°C.

El Poder de hinchamiento en este caso es una medida de la capacidad de hidratación del gránulo y está definido como el peso de los gránulos que han absorbido agua y se han sedimentado por gramo de almidón expresado en base seca.

La solubilidad se expresa como porcentaje en peso de la muestra de almidón cuyas moléculas se han disuelto después del calentamiento en agua a 95°C durante 30 minutos.

PERCY REYES JAVIER

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Lugar de Ejecución**

La presente investigación se realizó en los Laboratorios de Instrumentación, Biotecnología y Físico Química de la Facultad de Industrias Alimentarias, en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, los laboratorios mencionados se encuentran en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina, durante el periodo comprendido entre Setiembre de 2004 a Octubre de 2005. La determinación de Índices de Blancura se realizó en el Laboratorio IVER S. A., ubicado Av. Javier Prado 309 San Isidro, durante el mes de Agosto de 2006.

#### **3.2. Materia Prima**

La materia prima de la presente investigación fueron los granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) de la variedad Centenario producida en el Programa de Cereales de la UNALM.

#### **3.3. Equipos y Reactivos**

##### **3.3.1. Equipos**

- Digestor semi micro Kjeldahl, modelo 6014206, serie 0409113, marca Selecta P. España.
- Mufla. Heraeus GMBH HANAUS, Tipo MR170.
- Espectrofotómetro Thermo Spectronic, modelo Genesys 6.
- Licuadora doméstica Marca Osterizer, modelo
- Equipo clasificador de semillas Glasblaserei 160W
- Tamices circulares de 8 pulgadas de diámetro marca Soiltest Internacional.

- Tamices circulares de 8 pulgadas de diámetro marca Tyler.
- Centrífuga Budapesti Vegyipari Gépgyár. Tipo JF-415/L2 702 IP-22.
- Baño maría. Memmert. Tipo WB14. Número 1402.0591.
- Estufa, marca W. C. Heraeus HANAU, tipo KT500. Número 0003171.
- Estufa para el secado de almidón, GY SANTA SALO- SGHLBERG AB, tipo 4-1411, número 30051. Finlandia.
- Balanza analítica, marca Sartorius AG Gottingen, BL210S 13507610.
- Cocinilla para determinación de fibra cruda, marca Gerhardt Bonn, tipo EV14, serie 490162.
- pH- meter SCHOTT, marca Handylab1, serie Número 64029096
- Cocina agitador, marca CAT, tipo M6/1, serie 127522.
- Vortex, marca CAT, tipo VM2, serie 740745.
- Congelador, marca General Electric Company, modelo TBX 18GPJ, serie VF522219.
- Viscosímetro Brookfield.
- Colorímetro Konica Minolta modelo CR-400.
- Espectrofotómetro Konica Minolta CM – 2500d.
- Software On-Color™ QC by Konica Minolta.
- Cámara para lectura de color material granular, modelo CR-A50.

### 3.3.2 Reactivos

- Ácido sulfúrico c.c. ( Merck )
- Ácido clorhídrico c.c. ( Merck )
- Ácido bórico ( Merck )
- Hidróxido de sodio ( Merck )
- Catalizador Kjeldahl 36090
- Indicador rojo de metilo al 0,1% ( Riedel de Haen )
- Silicagel.
- Ether de petróleo (Riedel de Haen)
- Amilosa de papa ( Biomedicals )

- Amilopectina de papa ( Sigma )
- Yoduro de potasio ( Sigma )
- Yodo resublimado ( Sigma )

### 3.4 Métodos de Análisis

**3.4.1 Tamaño.** Se determinó el tamaño representativo de los granos de kiwicha acorde con el método de análisis acumulativo reportado por (Henderson y Perry, 1976). Este método consiste en expresar los resultados como porcentaje referente al peso de las semillas retenidas en cada tamiz. El análisis se realizó sobre la base de 100 gramos de semillas empleando tamices marca Tyler.

### 3.4.2 Análisis de algunas características físico químicas para los granos de kiwicha y almidón aislado

- La Humedad, fue analizada mediante el método de la estufa a presión atmosférica a 135° C hasta obtener peso constante, según método AACC 44-19 (1994). Fotos 2 y 3.

Foto 2. Balanza analítica y desecador para enfriado y pesado

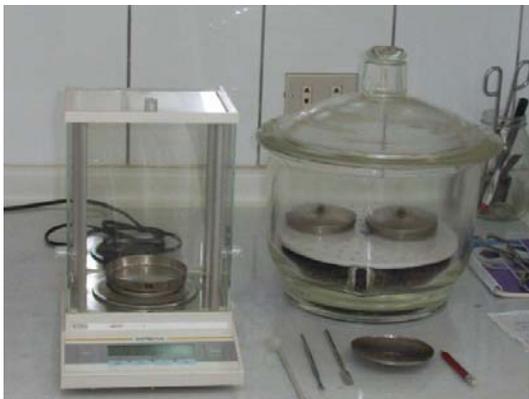


Foto 3. Mufla y estufa determinación ceniza y humedad respectivamente



- Cenizas en granos, para la determinación se uso una mufla a 600° C, según método AACC 08-03 (1994). Foto 3

- Cenizas del almidón para la determinación se empleó una mufla a 525° C, según método AACC 08-17 (1994). Foto 3.
- Proteína, mediante el método Proteína Cruda – micro-kjeldahl, según método AACC 46-13 (1994), utilizando el factor 5,85 para llevar el nitrógeno total a proteína, Foto 4.

**Foto 4. Sistema de destilación usado en la determinación de nitrógeno total**



- Extracto etéreo, se realizó mediante el método Soxhlet recomendado por AACC 30-25 (1994), Foto 5.

**Foto 5. Equipo Soxhlet empleado en la determinación de extracto etéreo**



- Determinación de azúcares reductores. Se utilizó el método de Miller 1959 citado por Pedreschi, 2002. “A 3 mL de ácido dinitrosalicílico (DNS) conteniendo 0,05% de bisulfito de sodio se añadió 0,5 mL de la solución problema. Luego está se llevó a 100°C por cinco minutos (Foto 6). La reacción fue detenida adicionanado 1 mL de sal de Rochelle y 15 mL de agua destilada. Las mediciones fueron realizadas a una densidad óptica de 550 nm”.

**Foto 6. Ebullición de la solución usada en la determinación de azúcares reductores**



- Determinación de los Índices de Blancura mediante el uso del Software On Color™ QC del espectrófotometro K Konica Minolta CM – 2500d. Estos Índices de Blancura son el resultado de la comparación de la blancura de la muestras con las escalas de blancura de las escalas Hunter y CIE, para luego ser expresadas en porcentaje.
- Determinación del color de los granos de kiwicha, expresado en la escala Hunter. Se colocaron granos de kiwicha en la Cámara para lectura de material granular, modelo CR-A50, luego poner el Colorímetro Konica Minolta modelo CR-400 y procedió a tomar las lecturas de color, Foto 7.

**Foto 7. Lectura de Color de los Granos de Kiwicha variedad Centenario**



- Determinación de fibra cruda en los granos de kiwicha y en el almidón aislado será realizará usando el método recomendado por AACC 32-15 (1994).
- Determinación de amilosa. Se utilizó el método de McGrance *et al.* (1998). Pesar 20 mg de amilosa o producto derivado de almidón, adcionar 0,4 mL DMSO y disolver en calor a 85°C por 15 minutos. Llevar la mixtura a 100 mL con agua desionizada. Luego tomar una alícuota de 1 mL y adcionar 3 mL de agua seguido de 1 mL de (6,5 x 10<sup>-4</sup> mol / L I / 1,3 x 10<sup>-2</sup> mol / L KI reactivo). Dejar por 10 minutos y medir a absorbancia (600nm) especificada para una celda de 1 cm de paso”, Cuadro 3 y Foto 8.

**Cuadro 3. Datos de la calibración entre una mixtura de amilosa/amilopectina de papa versus la absorbancia medida a 600nm.**

% Amilosa	% Amilopectina	Absorbancia a 600nm
100	0	1,229
75	25	0,985
50	50	0,679
25	75	0,472
10	90	0,343
0	100	0,191

**Foto 8. Medición de la absorbancia a 600nm en la determinación de amilosa**



- Determinación de lignina en los granos de kiwicha variedad Centenario. Se utilizó el método para la determinación de lignina en muestras de forrage propuesto por (Williams *et al.*, 1988) el cual se describe a continuación “pesar muestra de harina integral de kiwicha de 1,5 – 2,0g, transferirlo a un beakers de 100mL y adicionar 12,5mL de ácido sulfurico al 72%, dejar dentro de una campana durante 4 horas, cada 15 minutos mover con una varilla de vidrio, esta deberá

permanecer todo el tiempo dentro del beakers durante la digestión (temperatura ambiente). Después de las 4 horas lavar todo el residuo con 250mL de agua desionizada. Transferir todo el residuo durante el lavado a un beakers de 600mL, luego proceder a hervir durante dos horas (utilizar el equipo de determinación de fibra cruda, con bola de refrigeración). Filtrar empleando trampa de vacío y filtro Buchner, lavar con agua hirviendo, para después adicionar acetona. Luego llevar el filtro Buchner a secar por todo una noche a 100°C, luego enfriar y pesar. Poner (filtro Buchner) en la mufla durante 4 horas a 550°C”.

$$\% \text{lignina} = \frac{(\text{Peso después secado estufa} - \text{Peso luego de muflado}) \times 100}{\text{Peso de muestra}}$$

- Porcentaje de Pureza. Se utilizó la ecuación citada por Pérez y Lares (2004) la cual expresa a la pureza como un porcentaje de almidón total y se calcula de la siguiente forma:  

$$\% \text{ Pureza} = 100 - (\text{humedad} + \text{proteína cruda (N*5,85)} + \text{ceniza} + \text{fibra cruda} + \text{extracto etéreo} + \text{azúcares reductores})$$
- Determinación del Rendimiento y Almidón Recuperado. Se utilizó las ecuaciones citadas Moheno – Pérez *et al* (1999) las cuales fueron calculadas de la siguiente forma:

$$\text{Rendimiento de almidón (\%)} = \frac{\text{Peso almidón (b.s.)}}{\text{Peso de granos (b.s.)}} \times 100$$

$$\text{Almidón Recuperado (\%)} = \frac{\text{Peso de almidón (b.s.)}}{\text{Peso de almidón presente en el grano (b.s.)}} \times 100$$

### 3.4.3 Análisis físicos de la pasta

- **Viscosidad aparente (V. A.).** La viscosidad aparente del almidón será determinada acorde con el método citado por (Bello-Pérez *et al.*, 1998). Se empleó un viscosímetro Brookfield. En un vaso de 500mL, preparar una mezcla (w/w) de almidón 5% con 200mL de agua destilada. Esta mezcla será cocinada en agua hirviendo por 30 minutos, y luego enfriada hasta 25° C. Se determinará la viscosidad de la pasta fría usando `spindle` número 3 a 25° C y pH 5, con cuatro velocidades de corte 2; 4; 10 y 20 rpm. La estabilidad de la viscosidad de la pasta a 20 rpm, fue observada a 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20 y 30 minutos. Los resultados se expresarán en “cps” para temperaturas de 35; 45; 55; 65; 75 y 85°C, Foto 9.

**Foto 9. Determinación de la viscosidad de la Pasta de almidón a 75°C empleando spindle 3**



- **Estabilidad y Claridad de la Pasta de Almidón (E. C. P. A.).** Acorde con el método reportado por (Sánchez-Hernández *et al.*, 2002). Las pastas de almidón se elaboraron de la siguiente forma: Pesar 0,05g de almidón en 5mL de agua destilada en un tubo con tapa, luego

calentar en agua hirviendo por 30 minutos. Los tubos serán completamente agitados durante 5 minutos. Después se enfrió hasta temperatura ambiente por un período de 15 minutos, luego se registró la %T (transmitancia) de las muestras y el blanco a 650nm en un espectrofotómetro Genesys 6. El análisis se efectuó por triplicado. Las muestras fueron almacenadas a temperatura ambiente (30°C) y 4° C; registrando el %T a las 0; 24; 48; 72 y 96 horas. Los resultados se registrarán como %T / hora

- **Estabilidad a la congelación y descongelación (E. C. D).** Para evaluar esta propiedad funcional se empleó el método (Hoover *et al.*, 1998), teniendo presente que la descongelación se realizó hasta lograr tres temperaturas finales (30°, 60° y 90° C). Suspensiones acuosas de almidón (6% w / w), fueron rápidamente calentadas hasta 95° C bajo agitación constante para prevenir la sedimentación granular. Estas suspensiones fueron conservadas a 95° C por 30 minutos antes de ser enfriadas a 30° C. Luego son congelados hasta -16° C, durante 24 horas. Para medir se descongelo según sea el caso hasta 30° C; 60° C y 90°C, manteniendo esta temperatura por 6 horas, para luego ser enfriadas bruscamente con hielo y proceder a congelar hasta -16° C por 24 horas, hasta aquí se cumplió un ciclo (Congelación y descongelación). Luego se inicia el nuevo ciclo descongelando hasta la temperatura seleccionada (30°; 60° y 90°C) manteniendo esta temperatura por 6 horas y luego se enfría bruscamente para ser posteriormente congelados hasta -16°C; para cada temperatura de descongelación se tuvo material para 3 repeticiones para cada uno de los cuatro ciclos evaluados. El material designado para cada ciclo es centrifugado en tubos de (30mm de diámetro x 100mm, para facilitar la congelación y descongelación) a aplicando 1000 x g durante 20 minutos. Los valores obtenidos fueron el promedio de las tres repeticiones y se expresan en (%) de sinéresis,

apoyados por los registros de pesos inicial y final de tubos de centrifuga con y sin contenido.

**NOTA:** La presente evaluación no contó con equipo para una rápida congelación (como es el caso del empleo del nitrógeno líquido), el calentamiento rápido hasta la temperatura de descongelación deseada no se contó con equipo adecuado como un termociclador (únicamente fue usado un baño maría para el caso de 30° y 60° y para el caso de 95° se empleó un baño maría con olla y cocinilla) y en lo referente a la centrifugación se trabajó con una centrifuga de mesa, perteneciente al laboratorio de Físico Química de la Facultad de Industrias Alimentarias. Dicho equipo no estaba calibrado, únicamente tenía una perilla de encendido que incluye dos velocidades sin identificación.

- **Índice de Solubilidad (I. S.) y Poder de Hinchamiento (P. H.),** según el método (Li y Yeh, 2001). Se determinó por triplicado, usando 0,1g de almidón aislado. El almidón será pesado dentro del tubo de la centrifuga donde se le adiciona 10mL de agua destilada. Luego los tubos con la solución serán calentados a 55° C; 65° C; 75° C; 85° C y 95° C en baño maría con agitación durante una hora. Los tubos se enfrían con hielo hasta temperatura ambiente y luego se centrifugara (8000xg) durante 20 minutos. El sobrenadante será vertido fuera del tubo. Solo los materiales adheridos a las paredes de la centrifuga se le considerara como sedimento y se pesa (Ws). El sobrenadante será secado hasta peso constante (W1) en una estufa convectiva a 100° C. El índice de solubilidad (I. S.) y el Poder de Hinchamiento (P. H.) se calcula:

$$\% \text{ I. S.} = (W1/0,1) \times 100$$

$$\text{P.H. (gH}_2\text{O / g de muestra seca)} = Ws / (0,1 (100\% - \text{I. S. } \%))$$

**NOTA:** Se debe precisar lo siguiente: En la presente investigación se trabajó con una centrifuga de mesa, perteneciente al laboratorio de Físico Química de la Facultad de Industrias Alimentarias. Dicho equipo no estaba calibrado, únicamente tenía una perilla de encendido que incluye dos velocidades sin identificación. Por lo tanto los valores obtenidos no pueden ser confrontados con otras investigaciones, sin embargo la tendencia descrita por el desarrollo del método fue discutida con otras investigaciones.

### 3.5 Metodología Experimental

La ejecución de la presente investigación se realizó en tres etapas, las cuales se esquematizan en la Figura 21.

**Figura 21. Esquema de trabajo de la presente investigación**

Actividades	Limpieza Selección Clasificación Pesado Identificación muestras	Análisis proximal granos de kiwicha	Remojo 24h T° C ambiente	Licuoado $\theta=10\text{min.}$ Tamizado malla Tyler: 60, 140, 200 Lavado, sedimentación	Centrifugación 1500rpm $\theta=20\text{min.}$ (I y II)	Centrifugación 1500rpm $\theta=20\text{min.}$ (III y IV)	Determinación en el almidón aislado	Determinación de las propiedades físicas de la pasta
Soluciones			Bisulfito de sodio		Na(OH)	Etanol		
Parámetros			0,00%		0,00%	0,00%	→	Se trabajó con el almidón aislado de menor impurezas,
					0,15%	0,00%		
					0,25%	0,00%		
					0,00%	0,00%		
					0,15%	0,00%		
					0,25%	0,00%		
			0,2%		0,00%	0,00%		
					0,15%	0,00%		
					0,25%	0,00%		
					0,00%	0,00%		
					0,15%	0,00%		
					0,25%	0,00%		
0,3%		0,00%	0,00%					
		0,15%	0,00%					
		0,25%	0,00%					
Análisis	Tamizado granos	Humedad "%" Ceniza "%" Fibra cruda "%" Proteína "%" Grasa "%" Azúcares r. "%" Amilosa "%" Almidón "%"					Humedad "%" Ceniza "%" Fibra cruda "%" Proteína "%" Grasa "%" Azúcares "%" Amilosa "%" ** W Hunter "%" ** W CIE "%" Rendimiento "%" Pureza "%" Grado extra "%"	*Viscosidad apa- rente "cps"  *Solubilidad "%" *Poder hinchamiento "gH <sub>2</sub> O/g m.s." *Estabilidad conge- lación y descong"mL" *Claridad "%T"

\*\* W: Índice de Blancura

### **3.5.1 Caracterizar los granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) de la variedad Centenario**

#### **A. Clasificación de los granos de kiwicha de acuerdo a su tamaño**

La clasificación de los granos de kiwicha se realizó por medio de tamices de bronce de la serie Tyler 16; 18; 20; 25; 30; 35 y base; agitador mecánico. Para ello se pesa 100 gramos de granos de kiwicha de la variedad Centenario (3 repeticiones) y se registran los pesos de los granos retenidos en cada tamiz, expresando los resultados en porcentaje.

Adicionalmente se investigó respecto al tamaño de los granos de kiwicha, utilizando 65 accesiones pertenecientes al Banco de Germoplasma del Programa de Cereales de la UNALM, este estudio se efectuó debido a que no se disponía información para poder discutir los resultados de la clasificación de la variedad Centenario.

#### **B. Acondicionamiento de las muestras**

El acondicionamiento de las muestras de granos de kiwicha destinadas para la caracterización físicoquímica y para el aislado de almidón, se realizó de la siguiente forma: 3 paquetes de 100 gramos para la caracterización físicoquímica de la variedad Centenario y 36 paquetes de 200 gramos. El tamaño de grano empleado en ambos paquetes fue de 1mm.

#### **C. Análisis de algunas características físico químicas de los granos de kiwicha**

Estos análisis fueron determinaciones de humedad, proteína, grasa, ceniza, fibra cruda, azúcares reductores, amilosa y color expresado en sus componentes (a, b y L). La información resultante fue analizada de forma

descriptiva, empleando gráficos y realizando comparaciones con especies como *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus*.

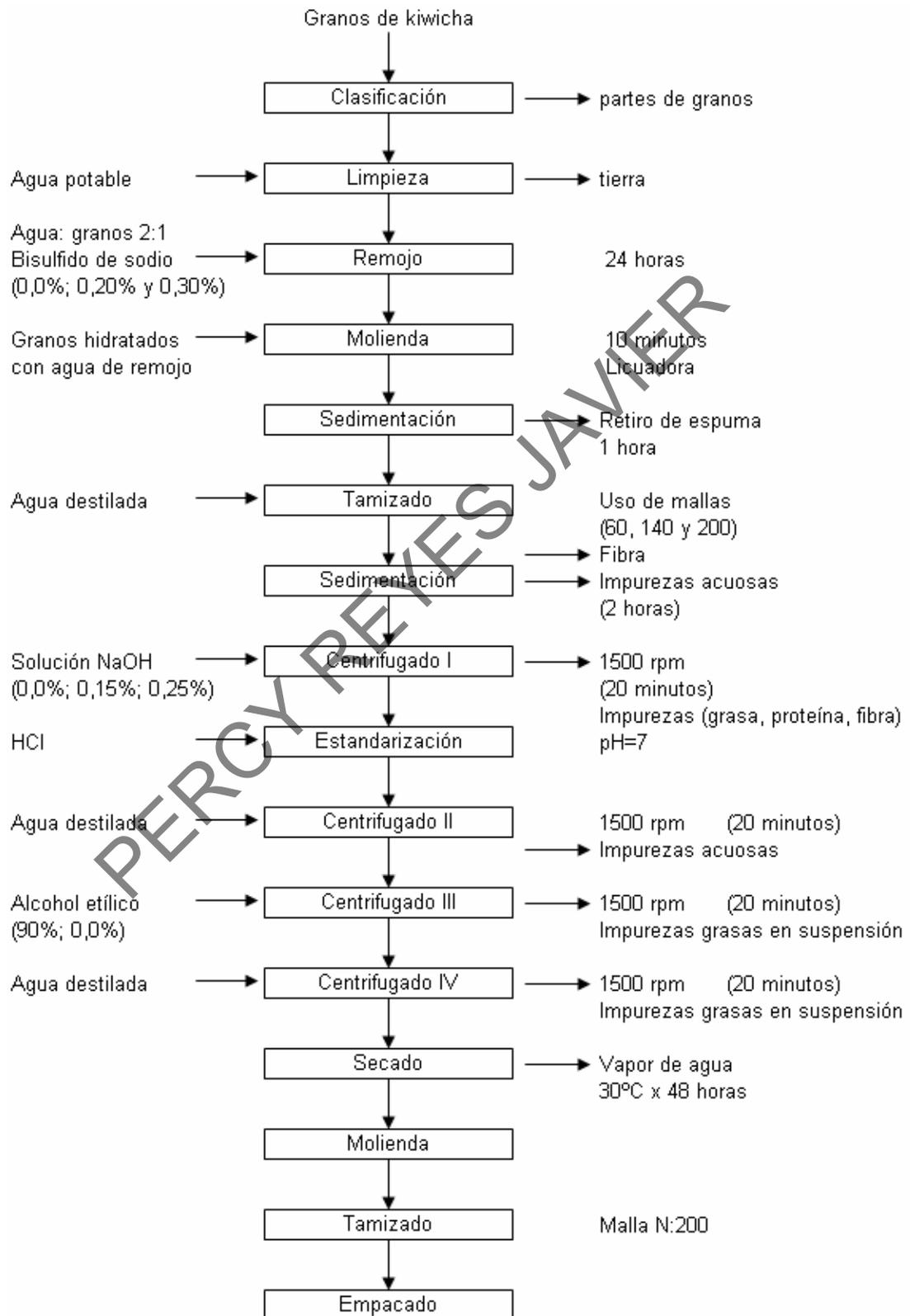
### **3.5.2 Procedimiento del aislado de almidón a partir de los granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) variedad Centenario**

#### **A. Aislado de almidón de *Amaranthus caudatus* L.**

El proceso de aislado de almidón proveniente de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.), se planteó sobre la base de los estudios reportados por (Pérez *et al.*, 1993) y (Malinski *et al.*, 2003) efectuados para el aislado de almidón proveniente de las especies *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus* respectivamente. A continuación se describe el proceso de aislado esquematizado en la Figura 22.

PERCY REYES JAVIER

**Figura 22: Flujo de operaciones para la obtención de almidón proveniente de granos de kiwicha variedad Centenario**



- Limpieza, clasificación y acondicionamiento fue realizado en (5.5.1 a y b).
- Remojó los 200 gramos de kiwicha empleando soluciones de bisulfito de sodio (0%; 0,20% y 0,30%) durante 24 horas a temperatura ambiente, de tal forma que la solución de bisulfito y los granos de kiwicha estén en proporción en peso de 2 / 1 respectivamente.
- Molienda húmeda, el total de los granos con las soluciones de remojo fueron licuados durante 10 minutos empleando una licuadora doméstica.
- Sedimentación, reposar el producto molturado durante una hora. Al término se eliminó la espuma empleando una espátula, Foto 10.

**Foto 10. Decantación del molturado húmedo**



- Tamizado, se tamizó empleando tamices de luz de malla 60; 140 y 200, durante este proceso se adicionó aproximadamente 1200mL de agua destilada para facilitar el aislado del almidón (Foto 11), como consecuencia del lavado del afrecho., descartando el afrecho al término del tamizaje.

**Foto 11. Tamizado del moturado humedo**



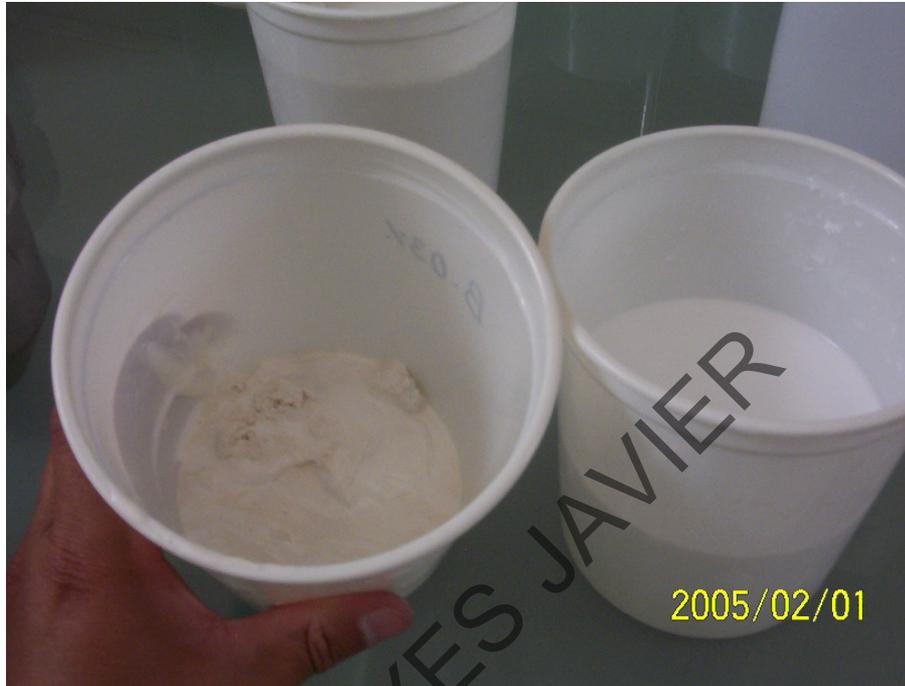
- Sedimentación, durante 2 horas y para eliminar el agua aproximadamente 1600 mL.
- Centrifugado I, adicionar aproximadamente 600 mL de la primera solución de hidróxido de sodio (0,0%; 0,15% y 0,25%) para lograr un volumen constante de 800mL. Luego de balanceado los pesos de los cuatros vasos, centrifugar a 1500rpm durante 20 minutos (adicionando 5 minutos como tiempo de estabilización de velocidad). Foto 12 (Se destapó la centrífuga, únicamente para la fotografía, debido a que ésta es una acción incorrecta). Al término, eliminar el sobrenadante y la capa fangosa seguida al precipitado.

**Foto 12. Centrifugación con solución de NaOH**



- Medición de pH y neutralizado, en función al registro de ácido – básico se adiciona gotas de HCl y / o hidróxido de sodio diluido hasta obtener pH = 7.
- Centrifugado II, lavar con agua destilada el precipitado; hasta completar 800mL (Foto 13) y su balanceo en la centrifuga, centrifugar a 1500rpm durante 20 minutos (adicionando 5 minutos como tiempo de estabilización de velocidad). Al término, eliminar el sobrenadante y la capa fangosa seguida al precipitado.

**Foto 13. Adición de agua de lavado para iniciar la segunda centrifugación**



- Centrifugado III, se completa el precipitado con una solución de alcohol etílico a (90% y 0%) centrifugar 1500rpm durante 20 minutos (adicionando 5 minutos como tiempo de estabilización de velocidad). Al término, eliminar el sobrenadante y la capa fangosa seguida al precipitado.
- Centrifugado IV, se completa con agua destilada hasta un volumen de 800mL, para luego balancear la centrifuga, centrifugar a 1500 rpm durante 20 minutos (adicionando 5 minutos como tiempo de estabilización de velocidad). Al término, eliminar el sobrenadante y la capa fangosa seguida al precipitado.
- Secado, almidón obtenido es depositado en un secador (Foto 14) de aire convectivo a 30°C durante 48 horas.

**Foto 14. Secador de aire convectivo**



- Molienda, tamizado y embolsado, el almidón tiende a cohesionarse formando agregados que fueron molidos en un mortero, para luego ser tamizado en malla 200, embolsar y envasar en botellas de vidrio.

#### **B. Análisis de algunas características físico químicas del almidón aislado y pruebas físicas a la pasta.**

Se logró 36 paquetes (Foto 15) de almidón aislado correspondientes a 18 tratamientos con sus dos repeticiones como consecuencia de la aplicación de solución químicas de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol) y sus respectivas combinaciones.

**Foto 15. Muestras envasadas en vidrio provenientes de los 18 tratamientos con dos repeticiones**



- Análisis fisicoquímicos de los almidones, a estos se les determinó humedad, proteína, grasa, ceniza, fibra cruda, amilosa, azúcares reductores, Índice de Blancura expresados en las escalas Hunter y CIE.
- Pruebas físicas de la pasta. Para el tratamiento de más alta pureza, se les evaluó la Viscosidad aparente; Índice de Solubilidad y Poder de Hinchamiento; Estabilidad a la congelación y descongelación; Estabilidad y Claridad de la Pasta de Almidón Las evaluaciones se efectuaron por triplicado.

### 3.6. Diseño estadístico

A. Estudio de la determinación del efecto de la aplicación de soluciones químicas (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol) en las variables Rendimiento, Almidón Recuperado, Porcentaje de Pureza e Índice de Blancura en las escalas Hunter y CIE, correspondiente al almidón aislado de los granos de kiwicha de la variedad Centenario. Se planteó un Arreglo Factorial 3A 3B 2C en un Diseño Completo al Azar. Siendo los factores:

- Factor A =%Bisulfito de sodio ( $a_1 = 0\%$ ;  $a_2 = 0,20\%$ ;  $a_3 = 0,30\%$ ).
- Factor B = %Hidróxido de sodio ( $b_1 = 0\%$ ;  $b_2 = 0,15\%$ ;  $b_3 = 0,25\%$ )
- Factor C =%Etanol ( $c_1 = 0\%$ ;  $c_2 = 90\%$ ).

Por lo tanto el factorial a evaluar es 3A 3B 2C, resultando 18 tratamientos a evaluar.

B. Estudio de la determinación del efecto de soluciones químicas (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol) en las variables concentración residual de (% proteína, % grasa, % ceniza, % fibra cruda y % azúcares reductores) y variación del contenido de la variable % amilosa en el almidón aislado de los granos de kiwicha de la variedad Centenario. Se plantea un Arreglo Factorial 3A 3B 2C en un Diseño Completo al Azar, con submuestreo.

- Factor A =%Bisulfito de sodio ( $a_1 = 0\%$ ;  $a_2 = 0,20\%$ ;  $a_3 = 0,30\%$ ).
- Factor B = %Hidróxido de sodio ( $b_1 = 0\%$ ;  $b_2 = 0,15\%$ ;  $b_3 = 0,25\%$ )
- Factor C =%Etanol ( $c_1 = 0\%$ ;  $c_2 = 90\%$ ).

C. Estudio de la variable Porcentaje de Pureza, se planteó una regresión múltiple con las posibles variables explicativas expresadas en porcentaje (proteína, grasa, ceniza, fibra cruda e Índice de Blancura en las escalas Hunter y CIE). Sobre la base de obtener una variable predictora que actúe como parámetro en el proceso productivo.

D. Ordenamiento de los registros de Porcentaje de Pureza e Índices de Blancura en las escalas Hunter y CIE, mediante la aplicación de la técnica estadística de análisis de Conglomerados (Cluster).

E. Estudio de algunas propiedades físicas para la pasta, se utilizó técnica descriptiva “graficos de barras y de lineas”.

F. El análisis estadístico fue realizado usando el Programa Estadístico MINITAB 14.

PERCY REYES JAVIER

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1 Caracterización físico química de la materia prima

En el Cuadro 4 se presenta la composición proximal de la harina de kiwicha proveniente de granos de kiwicha variedad Centenario (Foto 16).

**Cuadro 4. Algunas Características Físico Químicas de la Harina Integral de Kiwicha Proveniente de la Variedad Centenario**

Características	Unidad	Valores
Humedad	g/100g muestra	10,61
Proteína cruda** b.s.	g/100g muestra	13,56
Extracto etéreo (éter de petróleo) b.s.	g/100g muestra	5,84
Ceniza totales b.s.	g/100g muestra	2,43
Fibra cruda b.s.	g/100g muestra	5,89
Lignina (% de Fibra cruda) b.s.	g/100g muestra	23,26
Azúcares reductores (como glucosa) b.s.	g/100g muestra	0,21
Almidón b.s.	g/100g muestra	61,46
Amilosa (% de almidón) b.s.	g/100g muestra	5,27
Color	Harina integral Hunter	L=58,60; a=3,16; b=14,71
	Granos Hunter	L=53,11; a=4,68; b=18,96
Diámetro promedio de los granos	mm	1

Los valores representan el promedio de tres repeticiones.

\*\*Proteína cruda = 5,85 x N

**Foto16. Granos y harina integral de kiwicha variedad Centenario**



El contenido de humedad de los granos es 10,61%, siendo este congruente con lo registrado por (Segura *et al.*, 1994) quienes encontraron que los granos de *Amaranthus caudatus* tienen una humedad entre 9,5% – 11,6%. Por otro lado estudios efectuados en el Programa Académico de Agronomía de la Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco – K' ayra, muestran una alta dispersión para el porcentaje de humedad al respecto se muestran los siguientes resultados:

Lizárraga (1981) analizó 64 muestras de la Colección de Amaranthus Cusco y determinó que la humedad estaba comprendida entre 8,23 – 12,96%. Cavero (1983) encontró que la humedad de 45 líneas de la Colección de Amaranthus Cusco fluctúa entre 7,17- 12,77%. Villafuerte (1984) evaluó 25 líneas de la Colección de Amaranthus Cusco encontró un contenido de humedad que fluctuaba entre 6,24 – 11,67%. Asimismo Almanza y Hualpa (1984) evaluaron 97 líneas de la Colección de Amaranthus Cusco encontrando un contenido de humedad que fluctuaba entre 8,46 – 11,46%.

La gran dispersión del porcentaje de humedad en los granos de kiwicha evidencias diversos manejos post cosecha previa al almacenamiento así como también el período y condiciones de almacenaje. Adicionalmente Bresler *et al.* (1998) encontraron cantidades significativas de aflatoxinas acumuladas en granos de *Amaranthus* con un alto contenido de humedad superior 17% (equilibrio con  $A_w = 0,80$ ; temperatura = 25°C).

El contenido de proteína cruda expresado en base seca fue 13,56% para la kiwicha de la variedad Centenario. Este porcentaje no muestra una diferencia notable para la variedad Centenario respecto a otras variedades y accesiones pertenecientes a la Colección Cusco, esta afirmación es sustentada con la información mostrada a continuación: Quinde (1995) determino el porcentaje proteína cruda en los granos de kiwicha de las variedades Molinera y Oscar Blanco las cuales fueron 14,0% y 12,5% respectivamente. La kiwicha de la variedad Albiflorus registró 11,90% (Castro, 1987). Los estudios realizados en la Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco respecto al contenido de proteína cruda en base seca registra lo siguiente: Lizárraga (1981) evaluó 64 muestras de la Colección de *Amaranthus* Cusco reporta un contenido de proteína cruda promedio 13,66%. Caveró (1983) evaluó 45 líneas de la Colección de *Amaranthus* Cusco reportó un contenido promedio de 13,78%; asimismo (Gómez, 1978) determinó para las variedades Sanguinius y Albiflorus contenidos de 13,09 y 12,77% respectivamente.

El contenido del extracto etéreo expresado en base seca para la kiwicha variedad Centenario fue 5,84%, este contenido es relativamente bajo si lo comparamos con lo reportado por diferentes investigadores citados a continuación: Gómez (1978) determinó para las variedad Sanguinius 8,05%. Caveró (1983) evaluó 45 líneas de la Colección de *Amaranthus* Cusco y reporta un contenido promedio de 7,40%, con extremos 8,38% y 6,39%. Almanza y Hualpa (1984) evaluaron 97 líneas de la Colección Cusco, determinando un contenido promedio de 6.83% registrando rango fluctuante

8,58% y 4,11%. Castro (1987) encontró para la variedad Albiflorus un contenido de extracto etéreo de 8,39%. Quinde (1995) reporta un contenido de extracto etéreo para las variedades Oscar Blanco y La Molinera con 9,39% y 8,96% respectivamente.

El contenido de ceniza expresado en base seca para la kiwicha variedad Centenario fue de 2,43%, este registro es inferior a reportado por (Quinde, 1995) para las variedades La Molinera 4,71% y Oscar Blanco de 4,4%; pero similar a lo reportado por (Castro, 1987) para la variedad Albiflorus 2,13%. Almanza y Hualpa (1984) evaluaron 97 líneas de la Colección de Amaranthus Cusco citando un contenido promedio 2,67%, teniendo un rango fluctuando 3,54% y 2,24%. Villafuerte (1984) estudio 25 líneas de la Colección Amaranthus Cusco y reporta un contenido de ceniza de 1,93% teniendo un rango que fluctuó entre 2,47% y 1,36%. Cavero (1983) evaluó 45 líneas de Amaranto y reporta un contenido de 2,59. Gómez (1978) reportó un contenido de ceniza para las variedades Sanguinius 2,12% y Albiflorus 2,04%.

La fibra cruda expresada en base seca para la variedad Centenario fue de 5,89% de la cual el 23,26% es lignina. Castro (1987) reporta para la variedad Albiflorus 5,84%. Lizárraga (1981) evaluó 64 muestras de la Colección Kiwicha Cusco y reporta contenidos promedios de 9,42% teniendo valores extremos de 16,72% y 4,58%. Almanza y Hualpa (1984) refieren contenidos de fibra cruda que oscilan entre 3,14% a 14,12% al evaluar 97 líneas de la Colección Cusco. Quinde (1995) reporta para las variedades La Molinera y Oscar Blanco contenidos de fibra cruda 2,64 y 1,74%. Cavero (1983) evaluó 45 líneas de la Colección Amaranto y reporta un contenido de fibra cruda promedio de 5,17%; el mismo que fluctuó entre 10,45% y 2,76%. Gómez (1978) reporta para las variedades Sanguinius y Albiflorus contenidos de fibra cruda de 6.02% y 5.53% respectivamente. El contenido de fibra cruda de la variedad Centenario no presenta notorias diferencias con los

promedios registrados para las distintas líneas de kiwicha de la Colección Cusco.

El contenido de azúcares reductores expresados como glucosa en los granos de kiwicha variedad Centenario fue de 0,21g / 100g en base seca, este registro fue inferior al reportado por (Quinde, 1995) para las variedades Oscar Blanco y La Molinera que fueron 0,62 y 0,33 g/100g respectivamente. Este resultado nos puede decir que los granos de kiwicha tenían diferente estado de madurez.

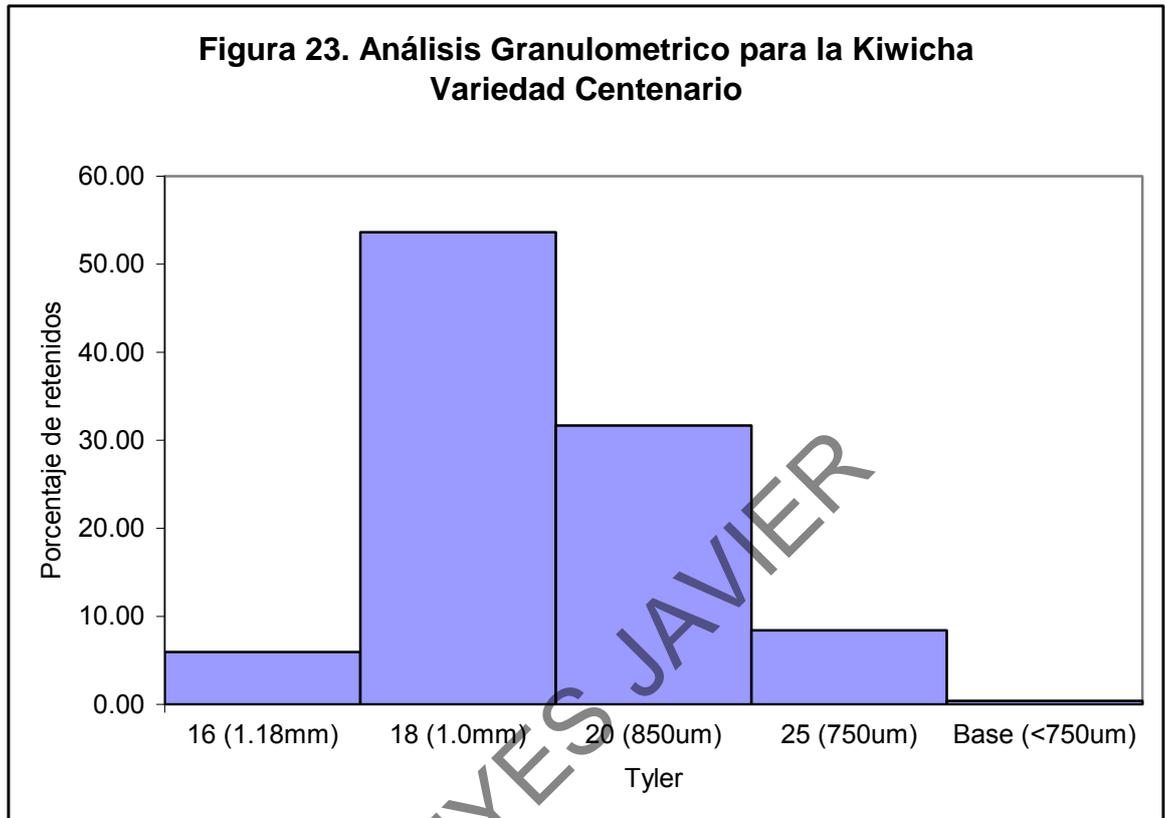
El contenido de almidón expresado en base seca fue determinado por sustracción del resto de componentes constituyentes del grano de kiwicha, para la variedad Centenario este contenido fue de 61,46% esta información es congruente con el estudio presentado por Valencia (1983) quien evaluó 103 entradas de *Amaranthus* de la Colección Cusco, encontró una concentración promedio de almidón 60,41% con máximo y mínimo de 68,8% y 53,02% respectivamente. Asimismo Caveró (1983) reporta un contenido promedio de almidón de 59,34%, al evaluar 45 líneas de *Amaranthus* sp. Choi *et al.* (2004) citan un contenido de 59,8%  $\pm$  0,3% de almidón. Sin embargo el contenido de almidón presente en la variedad Centenario es superior al encontrado por Gamel *et al.* (2004) el cual asciende a 54,28 % de almidón en granos de *Amaranthus caudatus* L.

El contenido de amilosa expresado en base seca respecto del almidón total para la variedad Centenario fue de 5,27%, este contenido es superior al promedio registrado por (Valencia, 1983) luego de la evaluación de 103 entradas de *Amaranthus* de la Colección Cusco, este promedio fue de 4,32% con un máximo y mínimo de 6,49 y 2,49% respectivamente. Asimismo Choi *et al.* (2004) citan un contenido de amilosa 3,2%  $\pm$  0,1%.

El color de los granos de kiwicha de la variedad Centenario evaluado visualmente fue amarillo, el mismo que es acorde con lo reportado por el

estudio de (Ríos, 2001) quien menciona la existencia de un predominio del color amarillo para la especie de *Amaranthus caudatus*. Por otro lado Choquehuanca (1982) reporta colores tales como blanco – amarillento, y amarillo grisáceo en lo referido al color amarillo. Para evitar estas diferencias producto de apreciaciones subjetivas respecto a luminosidad del color amarillo, se determinó el color en la escala Hunter el cual produjo el siguiente registró  $L=53,11$ ;  $a=4,68$ ;  $b=18,96$ .

El tamaño de grano de kiwicha variedad Centenario registró 53,62% de granos retenidos en la malla con diámetro de poro de 1mm, siendo este el diámetro promedio para la variedad lo que se aprecia en la Figura 23. El diámetro promedio de 1mm es similar a lo reportado por (Gómez, 1978) para las variedades Sanguinius y Albiflorus las mismas que tiene sus diámetros entre 1,00 – 1,20 mm y 1,00 – 1,15 mm respectivamente. Lizárraga (1981) evaluó el tamaño de granos de 64 muestras de la Colección Cusco, construyendo líneas de 20 granos de kiwicha y calculando el tamaño promedio de cada grano, encontró un diámetro que fluctuaba entre 1,08 – 1,36 mm. Estudios efectuados en otras especies de *Amaranthus* realizados por (Vizcarra *et al.*, 2003) para *Amaranthus hypochondriacus* y (Calzetta *et al.*, 2003) para *Amaranthus cruentus* determinaron el diámetro promedio para estos granos entre 1mm y 0,9mm respectivamente. Sin embargo al comparar el diámetro promedio de 1 mm correspondiente a la variedad Centenario con el análisis efectuado (**Anexo A**) en la presente investigación referidos a 65 accesiones de *Amaranthus caudatus* pertenecientes al Banco de Germoplasma del Programa de Cereales. Se determinó que los diámetros comunes a los granos de kiwicha son 1mm y 0,850mm; por lo tanto la variedad Centenario no muestra una característica que la diferencie de otras variedades respecto al tamaño de grano Esta afirmación es congruente con lo afirmado por (Bressani, 1991) “no se han efectuado estudios para incrementar el peso y el tamaño de grano de *Amaranthus*”.



- 4.2 **Determinar el efecto de la utilización de soluciones de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol), en el Rendimiento, durante el proceso de aislado de almidón proveniente de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) variedad Centenario**

Esta variable mide las pérdidas de peso durante el proceso de aislado de almidón, las que se producen desde el comienzo del remojo de los granos hasta la obtención del almidón aislado de granos de kiwicha, no toma en cuenta la pureza, almidón recuperación y otras características de calidad. Las pérdidas durante el proceso son atribuibles a la cantidad de sobrenadante y capas de colores oscuros en la superficie de los tubos de centrifugación, los cuales son retirados conforme se realiza el proceso de aislado de almidón.

**Cuadro 5. Rendimiento en porcentaje del almidón aislado de granos de kiwicha variedad Centenario**

Niveles de Bisulfito de sodio (%)	Niveles de NaOH (%)	Niveles de Alcohol Etilico (%)	REPETICIONES		Promedio
			I	II	
a1 (0,00)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	27,50	28,04	27,77
		c2 (90,00)	21,97	21,15	21,56
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	14,49	13,12	13,81
		c2 (90,00)	21,59	20,29	20,94
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	17,23	16,24	16,74
		c2 (90,00)	23,37	24,08	23,73
a2 (0,20)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	49,55	48,85	49,20
		c2 (90,00)	54,18	59,75	56,97
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	24,58	26,08	25,33
		c2 (90,00)	35,63	34,56	35,10
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	45,10	42,63	43,87
		c2 (90,00)	41,27	40,84	41,06
a3 (0,30)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	53,06	54,32	53,69
		c2 (90,00)	49,24	47,59	48,42
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	26,17	24,77	25,47
		c2 (90,00)	33,59	34,34	33,97
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	28,37	28,12	28,25
		c2 (90,00)	30,82	30,54	30,68

Los rendimientos de almidón aislado de granos de kiwicha variaron de 13,81 a 56,97% y se muestran en el Cuadro 5; siendo el mayor rendimiento de 56,97%; este resultado es largamente superior al mostrado por (Malinski *et al.*, 2003) y (Mundigler, 1998) el cual fue 20% para ambos estudios. Sin embargo (Malinski *et al.*, 2003) trabajaron con soluciones de metabisulfito, hidróxido de sodio y alcohol etílico, dicho estudio comprendió un remojo de los granos en metabisulfito de sodio al 0,2% durante 24 horas, para luego realizar lavados con una solución de hidróxido de sodio al 0,15% empleando centrifugación y terminar con una solución de alcohol etílico al 95%. Con similares tratatamientos la presente investigación logró un rendimiento de 35,10%. Este resultado se explica en el empleo del hidróxido de sodio, el cual actúa directamente en la eliminación de proteínas y grasas, creando una capa oscura de desecho continua al sobrenadante (Foto 17), esta capa

oscura es eliminada tal como se aprecia en la (Foto 18) y como consecuencia se produce la disminución de peso del producto final.

**Foto 17. Separación de fases  
luego de la centrifugación**



**Foto 18. Eliminación del  
sobrenadante y la fase oscura**



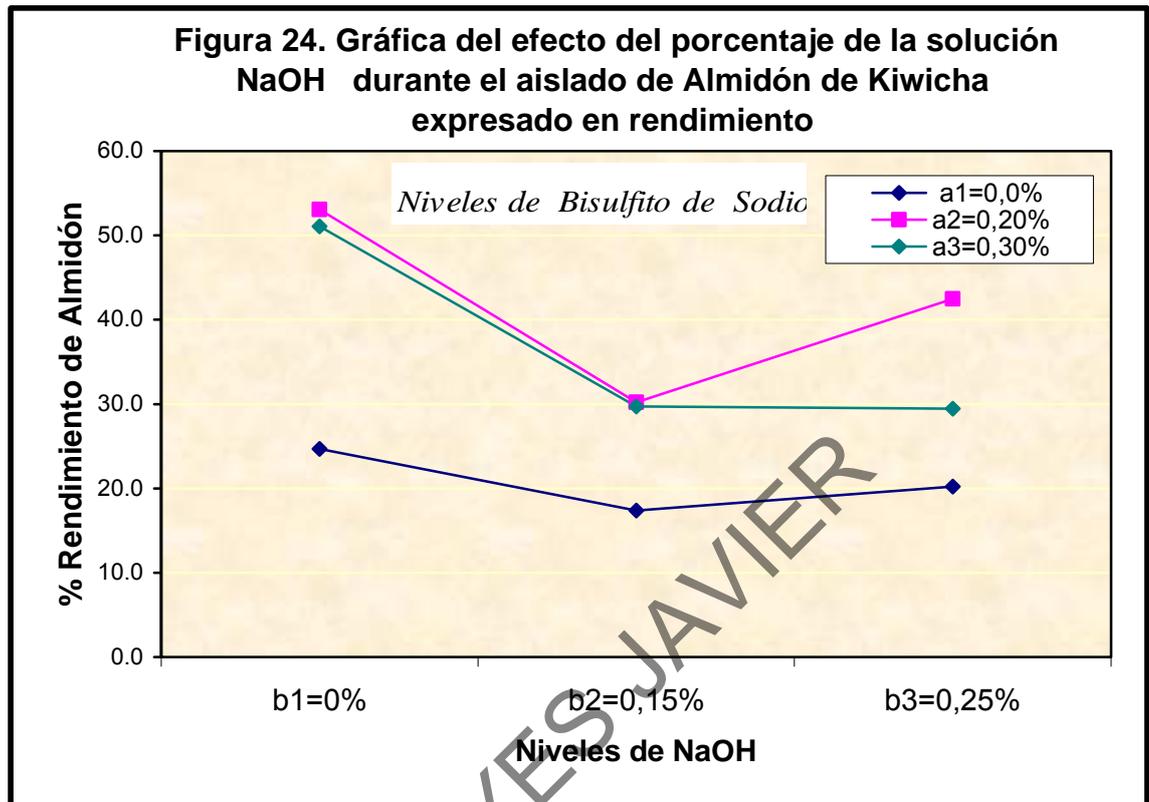
Rendimientos de almidón extraídos de granos de *Amaranthus cruentus* alrededor del 30%, fueron reportados por (Hoover *et al.*, 1998) para los cultivares Mexicano, Africano y A200D cuyos valores fueron 30,2; 29,0 y 38,3% respectivamente. Sin embargo rendimientos muy por debajo a los obtenidos en la presente investigación fueron presentados por (Raygada, 2001) para almidones de quinua de las variedades Kancolla y Chulpi los cuales registraron 18,59 y 24,78% respectivamente. Sin embargo Zapata *et al.* (1983) citado por Rasgada (2001) citan un rendimiento de 55% en la extracción de almidón de quinua, dicha registro es similar al presentado en la presente investigación.

Hoover *et al.* (1998) encontraron que estas discrepancias en los rendimientos porcentuales del almidón extraído puede ser explicado por los diferentes cultivares y / o diferentes métodos de extracción priorizando los pre tratamientos de granos. Sin embargo para (Raygada, 2001) y (Tarazona, 1995), ambas investigadoras hacen referencia a la capacidad de los equipos empleados en la extracción de almidón como por ejemplo la centrifuga, debido a la pérdida de almidón durante los trasvases.

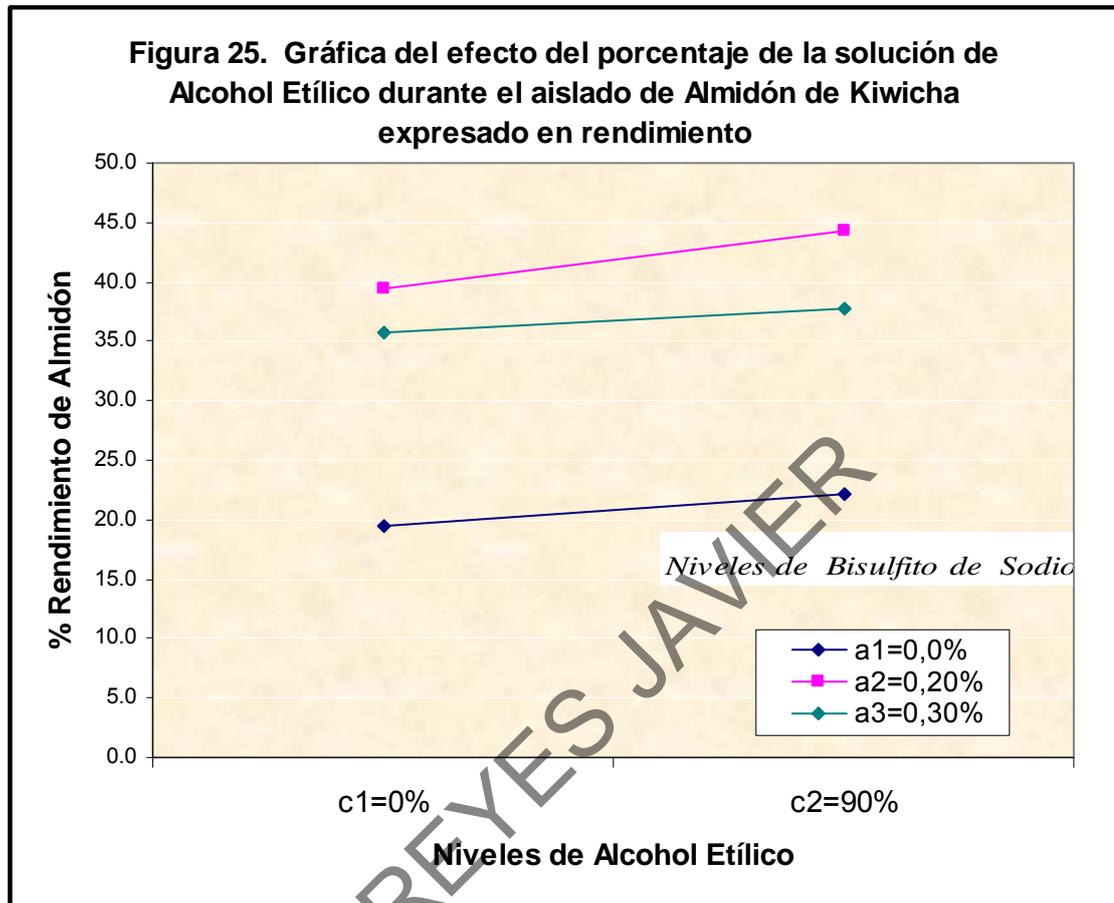
**Cuadro 6. Análisis de variancia para el rendimiento**

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F <sub>Calc</sub>	P-Value	Sig
% Bisulfito de sodio	2	2 921, 00	1 460, 50	970, 36	0, 000	*
% NaOH	2	1 873, 58	936, 79	622, 40	0, 000	*
% Alcohol Etilico	1	88, 92	88, 92	59, 08	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH x % Alcohol Etilico	4	158, 79	39, 70	26, 37	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH	4	510, 78	127, 69	84, 84	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % Alcohol Etilico	2	14, 84	7, 42	4, 93	0, 000	*
% NaOH x % Alcohol Etilico	2	145, 24	72, 62	48, 25	0, 000	*
Error	18	27, 09	1, 51			
<b>Total</b>	35	5 740, 25				

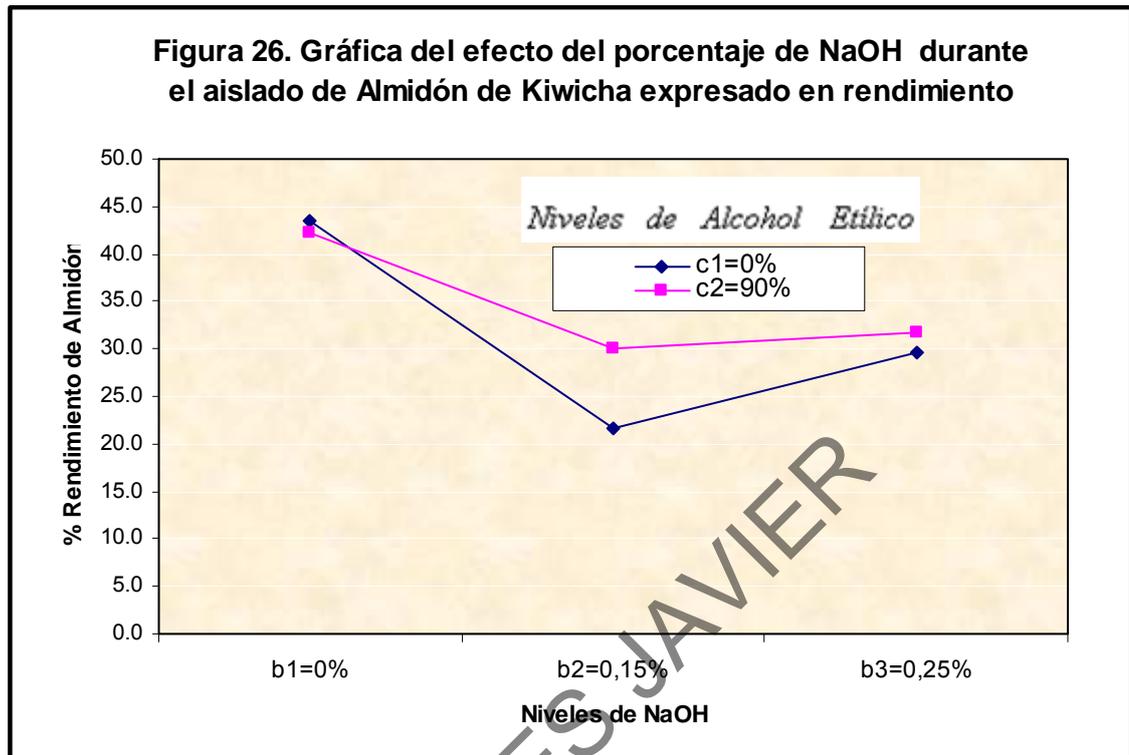
El análisis de variancia (ANVA) presentado para el rendimiento, se muestra en el Cuadro 6, donde se visualiza que existen diferencias significativas entre todos los factores principales (% bisulfito de sodio, % hidróxido de sodio y % alcohol etílico) y los efectos de interacción de estos factores, es decir sus interacciones influyen en el rendimiento de almidón aislado.



En la Figura 24, se muestra la fuerte interacción entre niveles de hidróxido de sodio, dado los tres niveles de bisulfito de sodio, el rendimiento promedio de almidón disminuyó al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%) y luego se incrementó al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25%), observándose el mayor rendimiento promedio sin presencia de NaOH y al 0,20% de bisulfito de sodio. La tendencia de incremento del rendimiento de almidón aislado de kiwicha al pasar de 0,15% a 0,25% puede ser explicada en la formación de una capa oscura más delgada en los tubos de la centrifuga que al ser eliminada provoca una menor reducción del peso del almidón resultante.



En la Figura 25 se observa una interacción moderada entre niveles de alcohol etílico y bisulfito de sodio, dado que para los tres niveles de bisulfito de sodio el rendimiento promedio de almidón aumentó al pasar al segundo nivel de alcohol etílico. El mayor rendimiento promedio se produce con el 90% de alcohol etílico y al 0,20% de bisulfito de sodio. Esto se explica debido a que el alcohol actúa retirando la grasa durante el centrifugado de esta forma la capa oleosa que se forma al final es menor, por lo tanto las pérdidas en peso son menores en comparación al empleo de agua en vez de alcohol etílico, en este caso se forma una capa gruesa oscura luego de la centrifugación que al ser retirada incrementa las pérdidas.



En la Figura 26 se observa una fuerte interacción entre los factores (hidróxido de sodio y alcohol etílico) lo cual se traduce en el cruce de líneas; dado los dos niveles de alcohol etílico, el rendimiento promedio de almidón disminuyó al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%) luego se incrementó al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25 %). El mayor rendimiento promedio de almidón se produce al trabajar sin presencia de NaOH y de alcohol etílico.

Como los resultados de los efectos principales y sus interacciones son significativas (Cuadro 6), se realizó la prueba de Tukey para verificar el efecto de los niveles de cada factor respecto al rendimiento.

Con un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el rendimiento promedio del primer nivel de bisulfito de sodio (20,76 gr de almidón /100 gr de kiwicha b.s.) difiere de los otros dos niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el

rendimiento promedio del segundo nivel de bisulfito de sodio (41,92 gr de almidón /100 gr de kiwicha b.s.) versus el rendimiento promedio del tercer nivel (36,74 gr de almidón /100 gr de kiwicha b.s.) al evaluar el rendimiento del almidón (%) aislado de granos de Kiwicha variedad centenario (Cuadro 1 del anexo B).

A un nivel de significación de 0,05 se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el rendimiento promedio del primer nivel de NaOH (42,93 gr almidón /100 gr de kiwicha) difiere de los otros dos niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el rendimiento promedio del segundo nivel de NaOH (25,77 gr de almidón /100 gr de semilla de kiwicha) versus el rendimiento promedio del tercer nivel (30,72 gr de almidón /100 gr de semilla de kiwicha) al evaluar el rendimiento del almidón (%) aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario (Cuadro 2 del anexo B)

En el Cuadro 3 del anexo B se puede observar que a un nivel de significación de 0,05 se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el rendimiento promedio del primer nivel de alcohol etílico (31,57 gr de almidón / 100 gr de kiwicha) difiere del segundo nivel (34,71 gr de almidón /100 gr de kiwicha) de alcohol etílico al evaluar el rendimiento del almidón (%) aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

- 4.3 Determinar el efecto de la utilización de soluciones de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol), en el porcentaje del almidón recuperado durante el proceso de aislado de almidón proveniente de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) variedad Centenario.

**Cuadro 7. Porcentaje de almidón recuperado de granos de kiwicha variedad Centenario**

Niveles de Bisulfito de sodio (%)	Niveles de NaOH (%)	Niveles de Alcohol Etilíco (%)	REPETICIONES		Promedio
			I	II	
a1 (0,00)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	44,74	45,62	45,18
		c2 (90,00)	35,74	34,41	35,08
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	23,58	21,35	22,47
		c2 (90,00)	35,13	33,01	34,07
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	28,04	26,42	27,23
		c2 (90,00)	38,02	39,18	38,60
a2 (0,20)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	80,62	79,48	80,05
		c2 (90,00)	88,16	97,22	92,69
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	40,00	42,44	41,22
		c2 (90,00)	57,97	56,23	57,10
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	73,38	69,36	71,37
		c2 (90,00)	67,15	66,46	66,81
a3 (0,30)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	86,33	88,39	87,36
		c2 (90,00)	80,13	77,43	78,78
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	42,59	40,31	41,45
		c2 (90,00)	54,66	55,88	55,27
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	46,16	45,76	45,96
		c2 (90,00)	50,14	49,69	49,92

Los valores de almidón recuperado del proceso de aislamiento en relación a la cantidad de almidón presente en la muestra estuvieron entre 22,47 a 92,69% Cuadro 7 y Foto 19. Estos resultados demuestran que el proceso de aislamiento depende en gran medida de las soluciones empleadas, para el valor de 92,69% este proceso recuperó una buena cantidad del almidón potencialmente extraíble, ya que durante las operaciones unitarias

empleando diversas concentraciones de soluciones se va perdiendo cierta cantidad de almidón. Sin embargo el valor de 92,69% de almidón recuperado a nivel laboratorio, puede considerarse satisfactorio y cuando se comparan con los reportados en otros estudios, este valor es ligeramente superior al reportado por (Choi *et al.*, 2004) los cuales recuperaron el  $87,2 \pm 0,1\%$  de almidón proveniente de *Amaranthus cruentus*. Sin embargo el 92,69% de almidón recuperado es menor a lo reportado por (Chang *et al.*, 2004) los cuales lograron recuperar el 96% de almidón de maíz céreo, empleando una mezcla etanol – ácido.

**Foto 19. Almidones recuperados de granos de kiwicha variedad Centenario con distintas soluciones de extracción**



La menor cantidad de almidón recuperado registró 22,47%, producto de la extracción empleando 0.00% de bisulfito de sodio; 0,15% de hidróxido de sodio y 0,00% de alcohol etílico. Esto se puede explicar por las pérdidas de peso producidas al eliminar sobrenadante y una capa espesa de mezcla proteíca, grasa y almidón al término de la primera centrifugación, esto fue observado por (Lim *et al.*, 1999) al aislar almidón de arroz, ellos determinaron que la pérdida de almidón más significativa ocurre durante la primera extracción, esta cantidad fluctua entre 61 – 69% del total de las pérdidas de cuatro extracciones con hidróxido de sodio al 0,1%.

**Cuadro 8. Análisis de variancia para el almidón recuperado**

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F <sub>Calc</sub>	P-Value	Sig
% Bisulfito de sodio	2	7 734, 66	3 867,33	969, 77	0, 000	*
% NaOH	2	4 959, 05	2 479,53	62, 76	0, 000	*
% Alcohol Etilico	1	235, 32	235, 32	59, 01	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH x % Alcohol etílico	4	420, 26	105, 07	26,35	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH	4	1 352, 82	338, 21	84, 81	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % Alcohol Etilico	2	39, 36	19, 68	4,93	0, 020	*
% NaOH x % Alcohol Etilico	2	384,16	192,08	48,17	0, 000	*
Error	18	71,78	3,99			
<b>Total</b>	35	1 5197,41				

En el Cuadro 8, con un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que todos los efectos principales y todos los efectos de interacción resultaron ser significativos al evaluar porcentaje de almidón recuperado de granos de Kiwicha variedad Centenario. La tendencia evidenciada en el análisis del rendimiento para el almidón aislado se puede visualizar en este análisis. Por lo tanto no se continuara con el análisis para esta variable.

- 4.4 **Determinar el efecto de la utilización de soluciones de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol), en el porcentaje de pureza del almidón aislado de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) variedad Centenario.**

**Cuadro 9. Porcentaje de pureza del almidón aislado de granos de kiwicha variedad Centenario**

Niveles de Bisulfito de sodio (%)	Niveles de NaOH (%)	Niveles de Alcohol Etílico (%)	REPETICIONES		Promedio
			I	II	
A1 (0,00)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	88,33	88,47	88,40
		c2 (90,00)	94,44	93,26	93,85
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	97,74	97,67	97,71
		c2 (90,00)	98,14	97,92	98,03
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	98,87	98,85	98,86
		c2 (90,00)	98,93	98,85	98,89
A2 (0,20)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	90,78	89,48	90,13
		c2 (90,00)	95,88	95,82	95,85
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	98,07	98,47	98,27
		c2 (90,00)	98,58	98,57	98,58
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	99,05	99,04	99,05
		c2 (90,00)	99,01	99,42	99,22
A3 (0,30)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	92,20	92,24	92,22
		c2 (90,00)	97,41	97,03	97,22
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	99,09	98,73	98,91
		c2 (90,00)	99,32	99,33	99,33
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	98,70	98,70	98,70
		c2 (90,00)	99,34	99,26	99,30

Los valores del porcentaje de pureza del almidón aislado estuvieron entre 88,40 a 99,33% (Cuadro 9), el uso de soluciones (bisulfito de sodio 0,30%, hidróxido de sodio 0,15% y alcohol etílico de 90%) permitió obtener una alta pureza de 99,33%, el mismo que es ligeramente inferior a lo reportado por (Pérez *et al.*, 1993) quienes reportaron porcentaje de pureza de almidón aislado de *Amaranthus cruentus* que fluctua entre 99,6 – 99,7%, empleando alcohol isoamilico, éter de petróleo y alcohol etílico; además efectuando

remojos en hidróxido de sodio al 0,25% alcanzaron niveles de pureza (%) entre 97,9 – 98,9%. Asimismo (Mundigler, 1998) empleando el método descrito por (Pérez *et al.*, 1993) reporta 98,77% de pureza para almidón aislado de granos de *Amaranthus cruentus*. Bello – Pérez *et al.* (1998) citan que el proceso de molienda húmeda es bueno para aislar almidón con bajos niveles de otros componentes provenientes de semillas de *Amaranthus hypochondriacus* obteniendo una pureza de  $96,2 \pm 2,4\%$ .

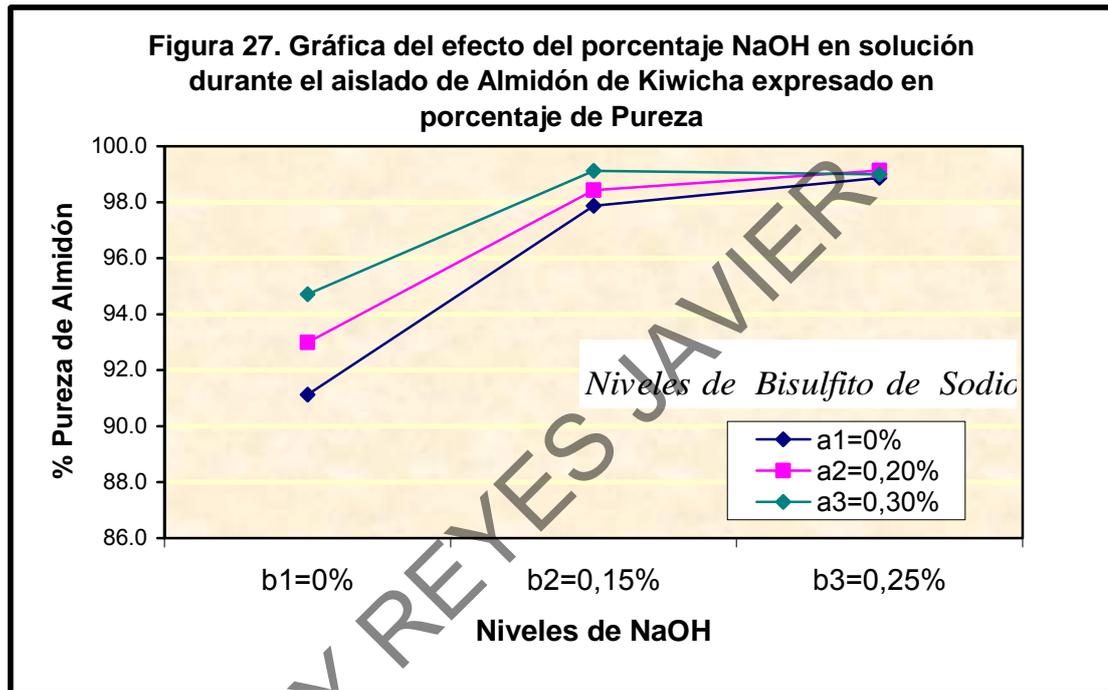
Lumdubwong y Seib (2000) refieren para el almidón aislado de granos de arroz empleando hidróxido de sodio una pureza de 98,9%. Betancur – Ancona *et al.* (2004) citan 98,9% de pureza para almidón aislado de semillas de *Phaseolus lunatus*, siendo clasificada como de alta pureza y con grado comercial.

**Cuadro 10. Análisis de Variancia para el porcentaje de pureza del Almidón Aislado de Granos de Kiwicha.**

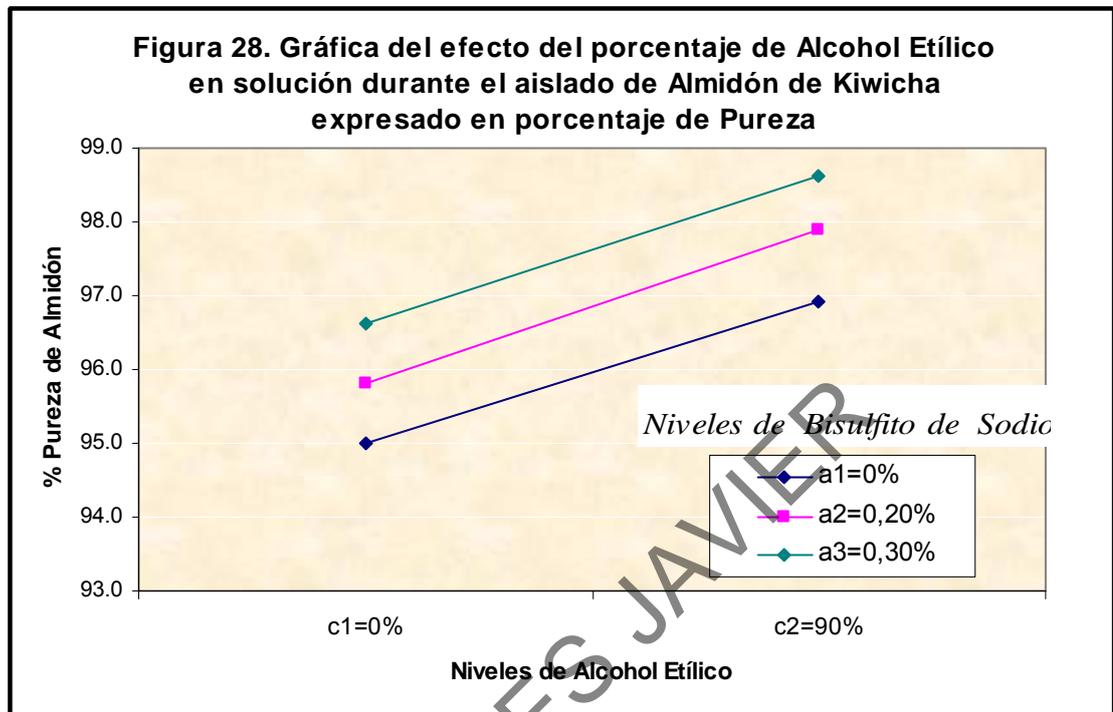
Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F <sub>Calc</sub>	P-Value	Sig
% Bisulfito de sodio	2	16,499	8,250	78,65	0,000	*
% NaOH	2	269,933	134,966	1286,72	0,000	*
% Alcohol Etilico	1	36,060	36,060	343,78	0,000	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH x % Alcohol Etilico	4	0,423	0,106	1,01	0,430	n.s
% Bisulfito de sodio x % NaOH	4	12,629	3,157	30,10	0,000	*
% Bisulfito de sodio x % Alcohol Etilico	2	0,025	0,013	0,12	0,887	n.s
% NaOH x % Alcohol Etilico	2	51,674	25,837	246,32	0,000	*
Error	18	1,888	0,105			
Total	35	389,131				

A partir del Cuadro 10, se observa que existen diferencias significativas para la pureza de almidón entre los factores (% bisulfito de sodio, % hidróxido de sodio y % alcohol etílico), así como también para las interacciones (%).

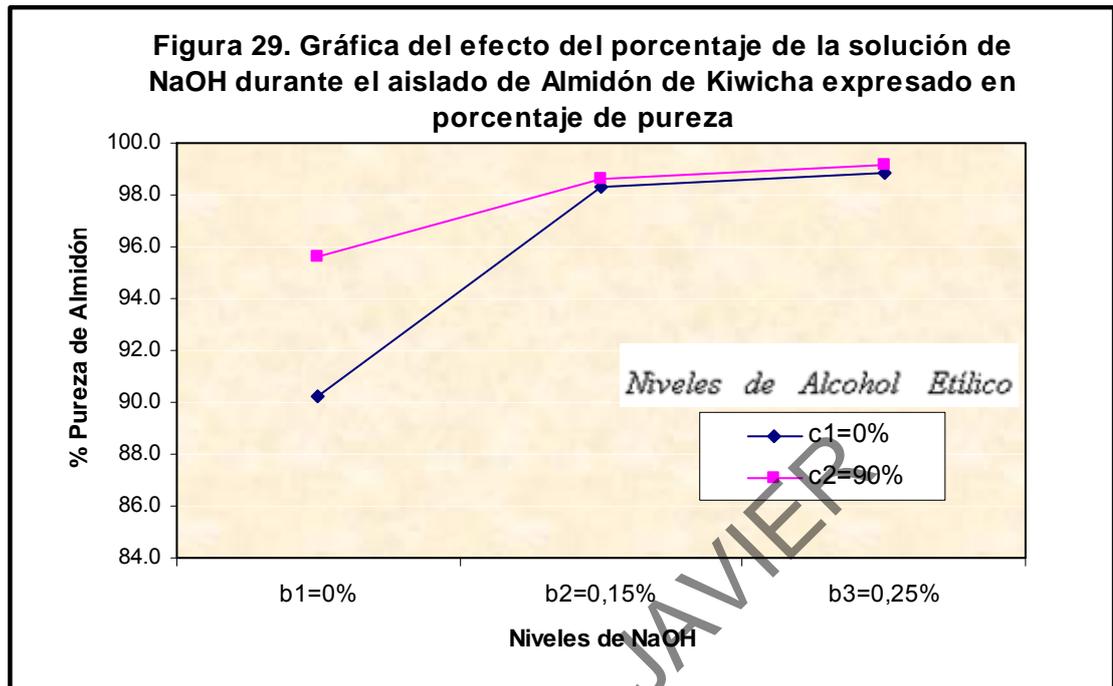
bisulfito de sodio \* % hidróxido de sodio) y (% hidróxido de sodio \* % alcohol etílico). No existiendo diferencias significativas para la pureza de almidón aislado en la interacción de los tres factores y (% bisulfito de sodio \* % alcohol etílico).



En la Figura 27 observamos una alta interacción entre los dos factores, dado los tres niveles de bisulfito de sodio, el porcentaje de pureza promedio aumentó al pasar al segundo nivel de hidróxido de sodio (0,15%) y luego se incrementó levemente al pasar al tercer nivel hidróxido de sodio (0,25%). Esto es explicado por la acción del hidróxido de sodio respecto a la proteína y grasa; teniendo presente que el contenido de proteína cruda y de grasa en los granos de kiwicha es de 13,56% y 5,84% respectivamente, la acción sobre estos componentes contribuye aumentar el porcentaje de pureza del almidón. Estos resultados son congruentes con lo reportado por (Choi *et al.*, 2004) quienes obtuvieron un bajo contenido de impurezas en el almidón aislado de granos de *Amaranthus cruentus* al emplear una solución de 0,25% de hidróxido de sodio durante el aislado del almidón.



En la Figura 28 se observa que no existe interacción significativa entre estos dos factores (alcohol etílico y bisulfito de sodio), pero dado los tres niveles de bisulfito de sodio el porcentaje promedio de pureza de almidón, aumentó al pasar al segundo nivel de alcohol etílico. Eso quiere decir que los dos factores son independientes en el incremento del porcentaje de pureza.



En la Figura 29, se muestra una fuerte interacción entre los factores (% de hidróxido de sodio \* alcohol etílico), dado los dos niveles de alcohol etílico, el porcentaje promedio de pureza de almidón aumentó al pasar al segundo nivel de NaOH, luego se incrementó levemente al pasar al tercer nivel de NaOH. El mayor porcentaje promedio de pureza se produce al 0,25% de NaOH y con 90% de alcohol etílico. Esta interacción muestra el efecto de la acción combinada de retirar las proteínas y la grasa del almidón de kiwicha expresada en el porcentaje de pureza.

Como los resultados de los efectos principales y sus interacciones (% bisulfito de sodio \* % hidróxido de sodio) y (% hidróxido de sodio \* % alcohol etílico), muestran diferencias significativas Cuadro 10, se realizó la prueba de Tukey para verificar el efecto de los niveles de cada factor respecto al porcentaje de pureza del almidón aislado.

A un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que porcentaje de pureza promedio del

primer nivel de bisulfito de sodio (95,96 %) difiere de los otros dos niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el porcentaje promedio de pureza del segundo nivel de bisulfito de sodio (96,85 %) versus el tercer nivel (97,61 %) al evaluar el porcentaje promedio de pureza del Almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario (Cuadro 1 del anexo C).

En el Cuadro 2 del anexo C se observa que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el porcentaje promedio de pureza del primer nivel de NaOH (92,95 %) difiere de los otros dos niveles. Lo mismo ocurre al comparar solo el porcentaje promedio del segundo nivel de NaOH (98,47 %) versus el tercer nivel (99,00 %) al evaluar el porcentaje promedio de pureza del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

A un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el porcentaje promedio de pureza del primer nivel de alcohol etílico (95,80 %) difiere del segundo nivel de ese tipo de alcohol (97,81 %) al evaluar el porcentaje promedio de pureza del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario (Cuadro 3 del anexo C).

**4.5 Determinar el efecto de la utilización de soluciones de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol), en los Índices de blancura porcentuales del almidón aislado de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) variedad Centenario, expresados en las escalas Hunter y CIE**

Los Cuadros 11 y 12, se muestran los registros de Índice de blancura del almidón aislado de granos de kiwicha, en ambos se aprecia que para el tratamiento remojo con bisulfito de sodio (0,20%), hidróxido de sodio (0,15%) y alcohol etílico de 90% se logró índices expresados en las escalas Hunter y CIE de 95,35 % y 91,47% respectivamente.

Los registros de los índices de blancura en la escala Hunter fluctuaron entre 65,15 a 95,35% (Cuadro 11). Asimismo los índices de blancura en la escala CIE fluctuarón entre 38,38 a 91,47% (Cuadro 12).

**Cuadro 11. Registros porcentuales de Índices de Blancura expresados en la escala Hunter provenientes del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.**

Niveles de Bisulfito de sodio (%)	Niveles de NaOH (%)	Niveles de Alcohol Etílico (%)	REPETICIONES		Promedio
			I	II	
a1 (0,00)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	68,26	70,95	69,61
		c2 (90,00)	62,96	67,33	65,15
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	89,48	92,74	91,11
		c2 (90,00)	93,89	94,22	94,06
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	94,40	94,82	94,61
		c2 (90,00)	91,45	93,30	92,38
a2 (0,20)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	65,01	70,82	67,92
		c2 (90,00)	79,33	79,71	79,52
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	95,10	90,37	92,74
		c2 (90,00)	95,40	95,29	95,35
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	94,58	94,70	94,64
		c2 (90,00)	95,86	90,70	93,28
a3 (0,30)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	80,64	80,08	80,36
		c2 (90,00)	86,91	94,60	90,76
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	92,80	95,42	94,11
		c2 (90,00)	95,42	94,62	95,02
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	93,79	93,30	93,55
		c2 (90,00)	94,03	94,21	94,12

**Cuadro 12. Registros porcentuales de Índices de Blancura expresados en la escala CIE provenientes del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario**

Niveles de Bisulfito de sodio (%)	Niveles de NaOH (%)	Niveles de Alcohol Etílico (%)	REPETICIONES		Promedio
			I	II	
a1 (0,00)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	43,70	48,82	46,26
		c2 (90,00)	33,78	42,98	38,38
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	81,22	87,48	84,35
		c2 (90,00)	89,34	89,76	89,55
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	90,03	90,78	90,41
		c2 (90,00)	85,03	88,29	86,66
a2 (0,20)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	38,86	49,75	44,31
		c2 (90,00)	64,05	64,84	64,45
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	91,19	82,78	86,99
		c2 (90,00)	91,34	91,60	91,47
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	90,42	90,68	90,55
		c2 (90,00)	92,52	83,15	87,84
a3 (0,30)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	66,87	66,15	66,51
		c2 (90,00)	77,43	90,00	83,72
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	85,12	91,74	88,43
		c2 (90,00)	91,74	90,26	91,00
	b3 (0,25)	c1 (00,00)	88,96	88,44	88,70
		c2 (90,00)	89,12	89,84	89,48

Sobre la base de la información brindada del ANAVA (Cuadro 13), se encuentra que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que todos los efectos y sus interacciones resultaron ser significativos, al evaluar el Índice de blancura porcentual expresado en la escala Hunter del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario, con un nivel de significación de 0,05.

**Cuadro 13. Análisis de Variancia de la variable Índice de Blancura porcentual expresado en la Escala Hunter**

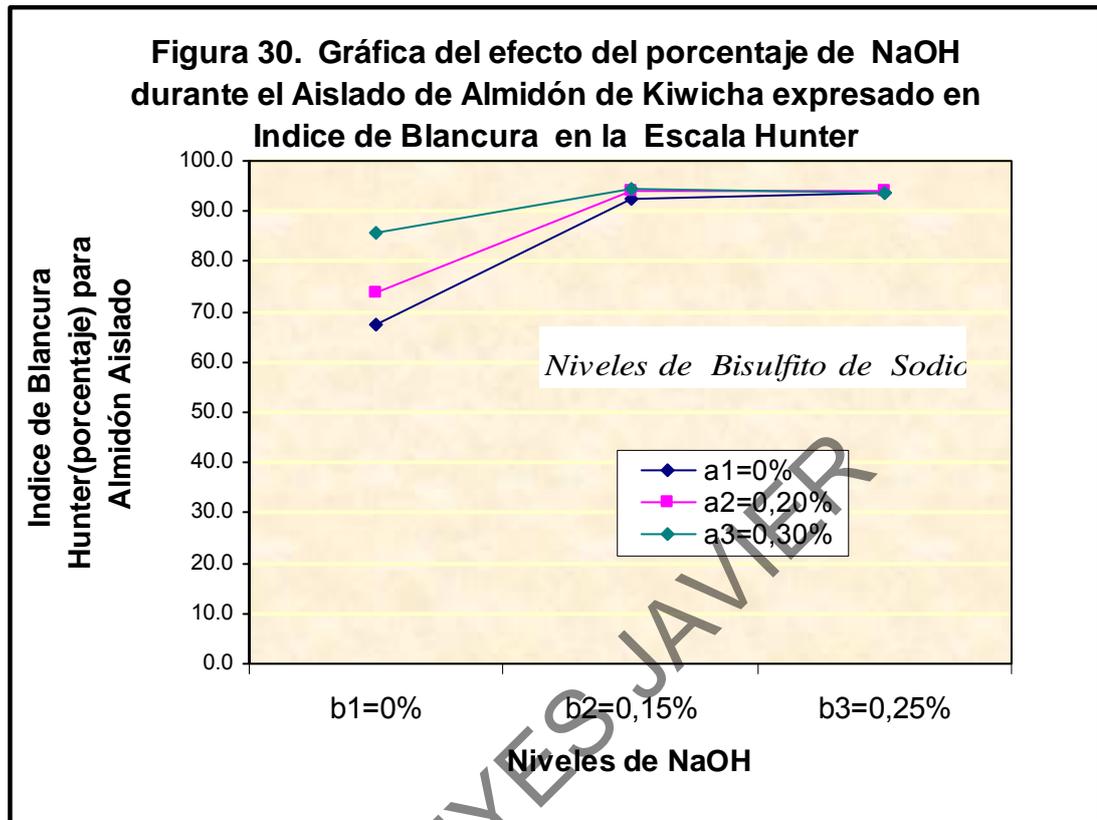
Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F <sub>Calc</sub>	P-Value	Sig
% Bisulfito de sodio	2	283, 81	141, 90	26, 77	0, 000	*
% NaOH	2	2 648, 59	1 324,30	249, 84	0, 000	*
% Alcohol Etílico	1	48, 93	48, 93	9, 23	0, 007	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH x % Alcohol Etílico	4	108, 70	27, 18	5, 13	0, 006	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH	4	406, 46	101, 61	19, 17	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % Alcohol Etílico	2	57, 89	28, 94	5, 46	0, 014	*
% NaOH x % Alcohol Etílico	2	70, 59	35, 30	6, 66	0, 007	*
Error	18	95, 41	5, 30			
<b>Total</b>	35	3 720, 38				

En el Cuadro 14 Observamos que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que todos los efectos principales y todos los efectos de interacción resultaron ser significativos al evaluar el índice de blancura CIE (%) del Almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario. Estos resultados son similares a los observados en el Cuadro 13, por lo que el análisis de las interacciones solo serán presentadas para el índice de blancura en la escala Hunter.

**Cuadro 14. Análisis de Variancia de la variable Índice de Blancura porcentual expresado en la Escala CIE**

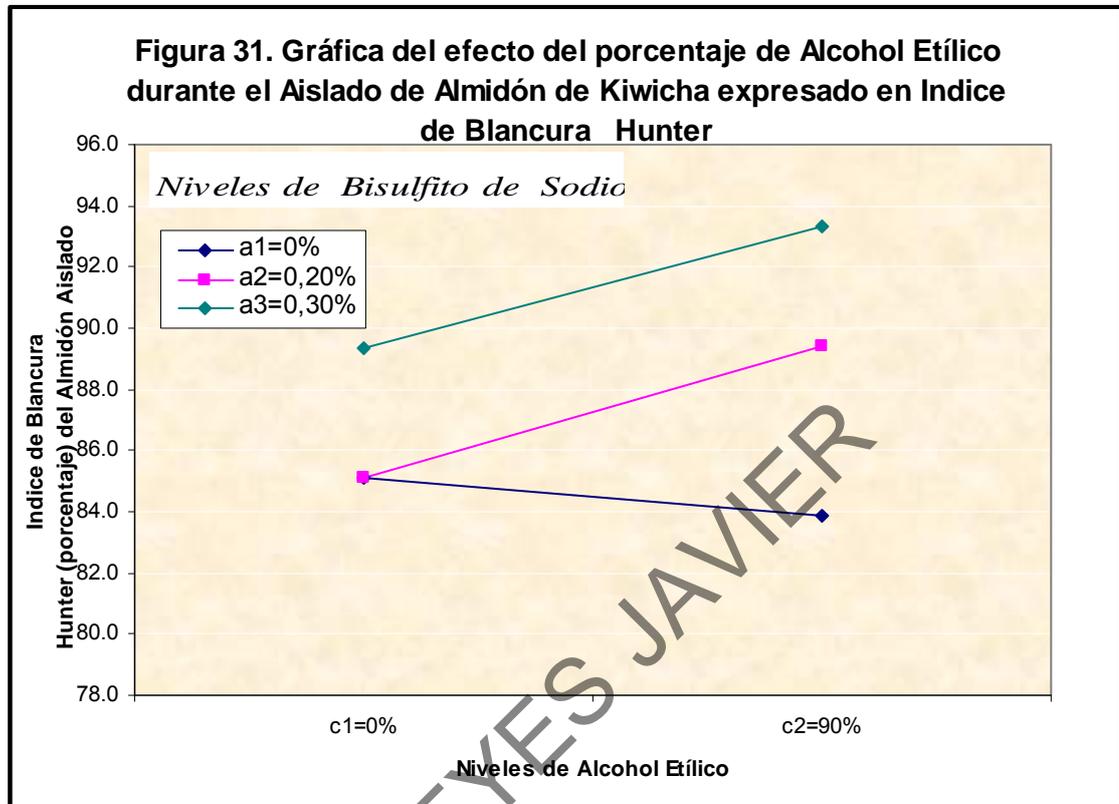
Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F <sub>Calc</sub>	P-Value	Sig
% Bisulfito de sodio	2	877,88	438,94	24,51	0,000	*
% NaOH	2	7 946,34	3 973,17	221,89	0,000	*
% Alcohol Etílico	1	144,32	144,32	8,06	0,011	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH x % Alcohol Etílico	4	318,99	79,75	4,45	0,011	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH	4	1341,51	335,38	18,73	0,000	*
% Bisulfito de sodio x % Alcohol Etílico	2	170,29	85,15	4,76	0,022	*
% NaOH x % Alcohol Etílico	2	205,89	102,95	5,75	0,012	*
Error	18	322,31	17,91			
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>11327,52</b>				

En la Figura 30, se aprecia una fuerte interacción entre el porcentaje de hidróxido de sodio dado los tres niveles de bisulfito de sodio, el porcentaje promedio de blancura Hunter aumentó al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%) y luego se estabilizó al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25%).

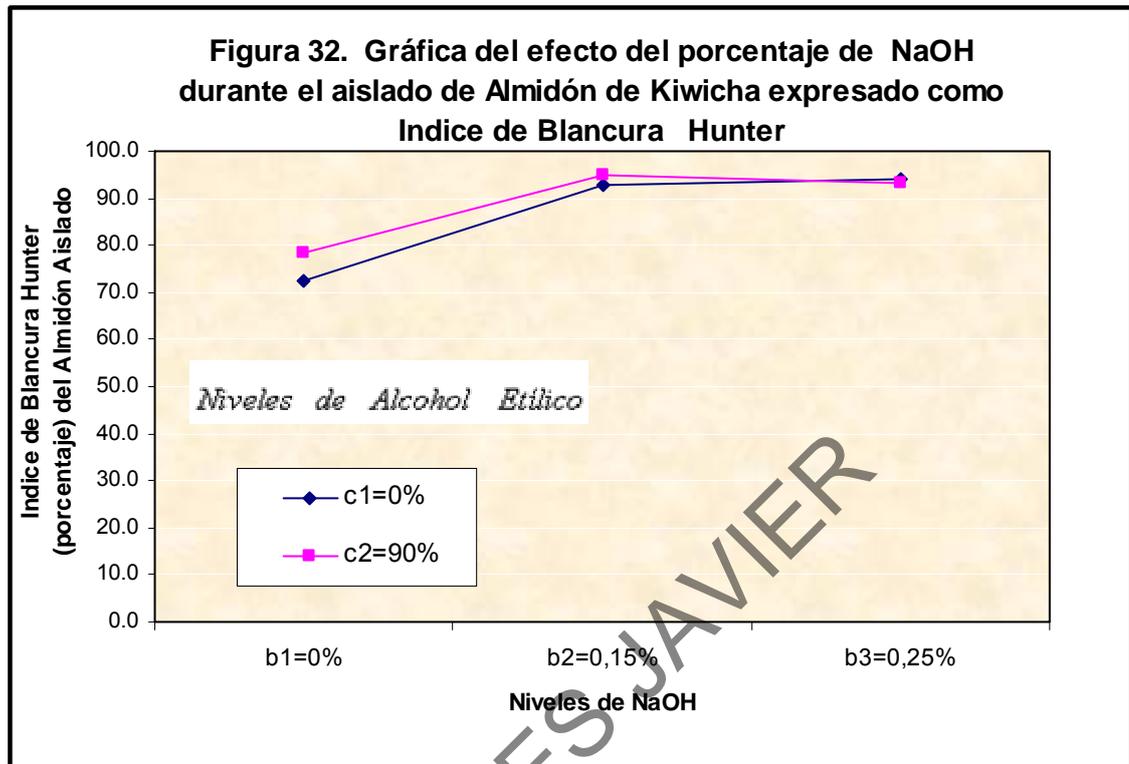


La interacción entre los niveles de alcohol etílico dado los tres niveles de bisulfito es fuerte; para el porcentaje promedio del índice de blancura Hunter del almidón aislado; este aumentó al pasar al segundo nivel de alcohol etílico (90%). El mayor porcentaje promedio del Índice de blancura Hunter se produce con el 90% de alcohol etílico y el 0,30% de bisulfito de sodio

Figura 31.



En la Figura 32 se muestra la interacción entre el porcentaje de hidróxido de sodio y los niveles de alcohol etílico es fuerte debido a que se observa un cruce de líneas. Además dado los dos niveles de alcohol etílico, el porcentaje promedio del índice de blancura Hunter del almidón aislado aumentó al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%), luego se incrementó levemente al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25%). El mayor porcentaje promedio del índice de blancura Hunter se produce al 0,30% de NaOH y sin la presencia de alcohol etílico.



Como los resultados de los efectos principales y sus interacciones muestran diferencias significativas en los Cuadros 13 y 14, se realizó la prueba de Tukey para verificar el efecto de los niveles de cada factor respecto al índice porcentual de blancura en la escala Hunter

En el Cuadro 1 del anexo D se observar que para un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que porcentaje promedio del índice de blancura expresado en la escala Hunter del primer nivel de bisulfito de sodio (84,48 %) difiere de los otros dos niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el porcentaje promedio del segundo nivel de bisulfito de sodio (87,24 %) versus el tercer nivel (91,32 %) al evaluar el porcentaje promedio de los índice de blancura Hunter del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

A un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el porcentaje promedio de los índices de blancura expresados en la escala Hunter del primer nivel de NaOH (75,55 %) difiere de los otros dos niveles. Pero no existe diferencias significativas al comparar solo porcentaje promedio del segundo nivel de NaOH (93,73 %) versus el tercer nivel (93,76 %) al evaluar el porcentaje promedio de los índices de blancura Hunter del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario Cuadro 2 del anexo D.

En el Cuadro 3 del anexo D se observar que para un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el porcentaje promedio de los índices de blancura expresados en la escala Hunter del primer nivel de alcohol etílico (86,51 %) difiere del segundo de alcohol etílico (88,85 %) al evaluar el porcentaje promedio de los índices de blancura expresados en la escala Hunter del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

**4.6 Determinar el efecto de la utilización de soluciones de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol), en las concentraciones residuales porcentuales (proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza total y azúcares reductores) presentes en el almidón aislado de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) variedad Centenario.**

En todas las muestras de almidón logradas producto de la aplicación de 18 tratamientos con sus dos repeticiones, no se detectó presencia residual de azúcares reductores (expresados como glucosa). Este resultado es congruente con lo reportado por (Pérez *et al.*, 1993) quienes investigaron técnicas para aislado de almidones provenientes de *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus*, aislados mediante tres métodos (A, B y C), quienes emplearon A (alcohol isoamilico, etanol y eter de petroleo), B (NaOH al 0,25%) y C (NaOH al 0,25%, dos veces).

#### 4.6.1 Análisis del contenido de la proteína cruda presente en el almidón aislado.

En el Cuadro 1 del anexo E, se visualiza el contenido de proteína cruda residual promedio de los almidones aislados, utilizando diferentes soluciones expresados en concentraciones porcentuales de bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y alcohol etílico, dicho contenidos residual de proteína fluctuaron entre 0,10 a 0,65%, por lo tanto se puede afirmar que todos estos almidones aislados son considerados como purificados respecto al porcentaje de proteína residual, sobre la base de lo afirmado (Tester *et al.*, 2004) quienes afirman que “todos los almidones purificados contienen <0.6% de proteína”.

Las concentraciones de proteína cruda residual en los almidones aislados son menores a lo reportado por (Bello – Pérez *et al.*, 1998 y López *et al.*, 1994) las cuales fueron 0,90% (*Amaranthus hypochondriacus*) y 0,10 a 0,97% (diversas especies de *Amaranthus*) respectivamente. Por otro lado Uriyapongson y Rayas – Duarte (1994) citados Bello – Pérez *et al.* (1998) encontraron valores de proteína contenidos en almidones de *Amaranthus hypochondriacus* x *Amaranthus hybridus* y *Amaranthus cruentus* entre 0,02 y 0,06%, lo cual depende del método de aislado de almidón. Asimismo Pérez *et al.* (1993) encontraron una concentración residual de proteína de 0,13% empleando para el aislado del almidón hidróxido de sodio, para extraer almidón de *Amaranthus hypochodriacus* (K-343); también para la misma especie de *Amaranthus* (Yanez *et al.*, 1986) citan una concentración de proteína residual de 0,12% empleando un método alcalino. Adicionalmente (Mundigler, 1998) reporta un contenido de proteína residual de 0,02% en el aislado de almidón proveniente de *Amaranthus cruentus*, empleando el mismo método de hidróxido de sodio.

El menor contenido promedio de proteína residual 0,10%, empleando remojo en bisulfito de sodio 0,30%, hidróxido de sodio 0,25% y alcohol etílico

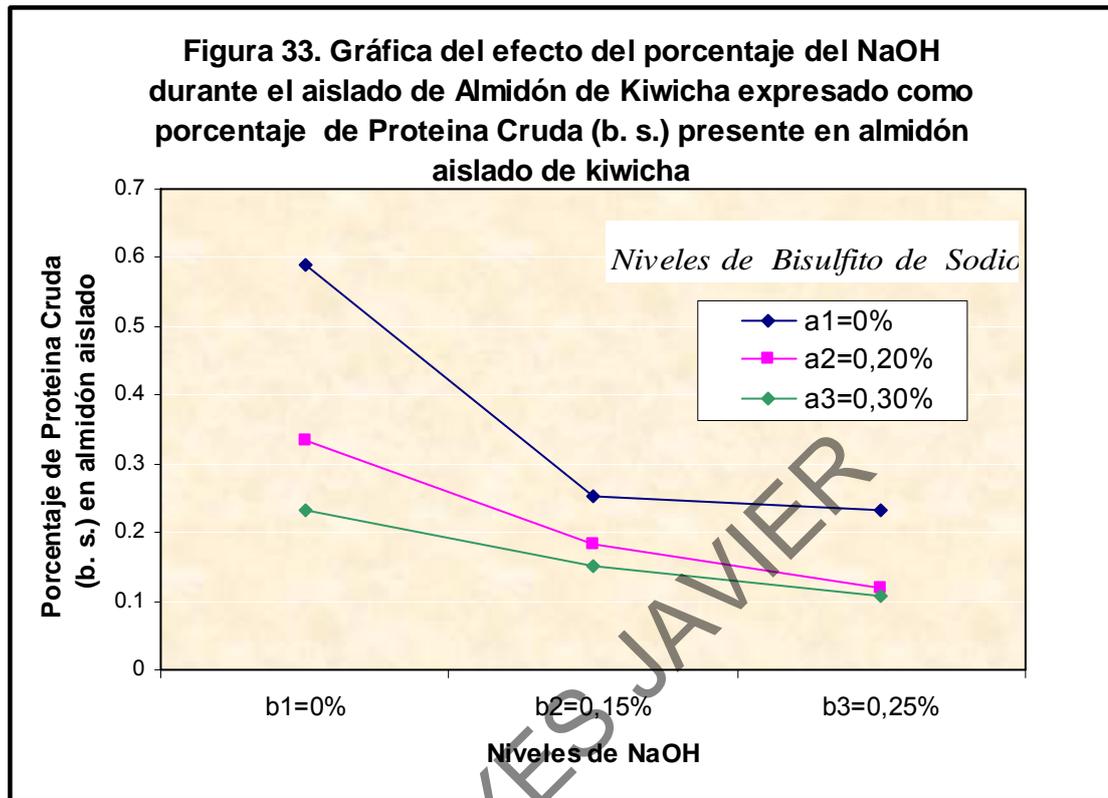
90%, sugiere que este almidón podría ser usado como material crudo en la producción de jarabe de glucosa o fructosa evitando interferencias con la reacción de Maillard. Sin embargo este contenido de 0,1% de proteína también fue reportado (Choi *et al.*, 2004) quienes aislaron almidones de granos de *Amaranthus*, mediante remojo en una solución de 0.25% de hidróxido de sodio durante toda la noche y realizando centrifugaciones sucesivas con esta solución. Cantidades menores de proteína residual fue reportado por (Marcone, 2001) para *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus pumilus* siendo estos valores de 0,05 y 0,07% respectivamente.

Almidones aislados de otras especies vegetales contienen cantidades mínimas de proteína residual en sus almidones, tales es el caso de el almidón de *Okenia*  $0,18 \pm 0,001$  % que es menor al contenido de proteína presente en el almidón de maíz  $0,54 \pm 0,001$  (Sánchez – Hernández *et al.*, 2002). Hernández – Lauzardo *et al.* (2004) citan una concentración de proteína residual de  $0,34 \pm 0,01$  y  $0,54 \pm 0,00$  en almidones aislados de *Oxalis tuberosa* y maíz respectivamente. Betancur – Ancona *et al.* (2004) citan para el almidón aislado de granos de *Phaseolus lunatus* concentraciones de proteína de 0,2 (g / kg b.s.)

**Cuadro 15. Análisis de variancia para el contenido de proteína residual en el almidón extraído de los granos de Kiwicha variedad Centenario**

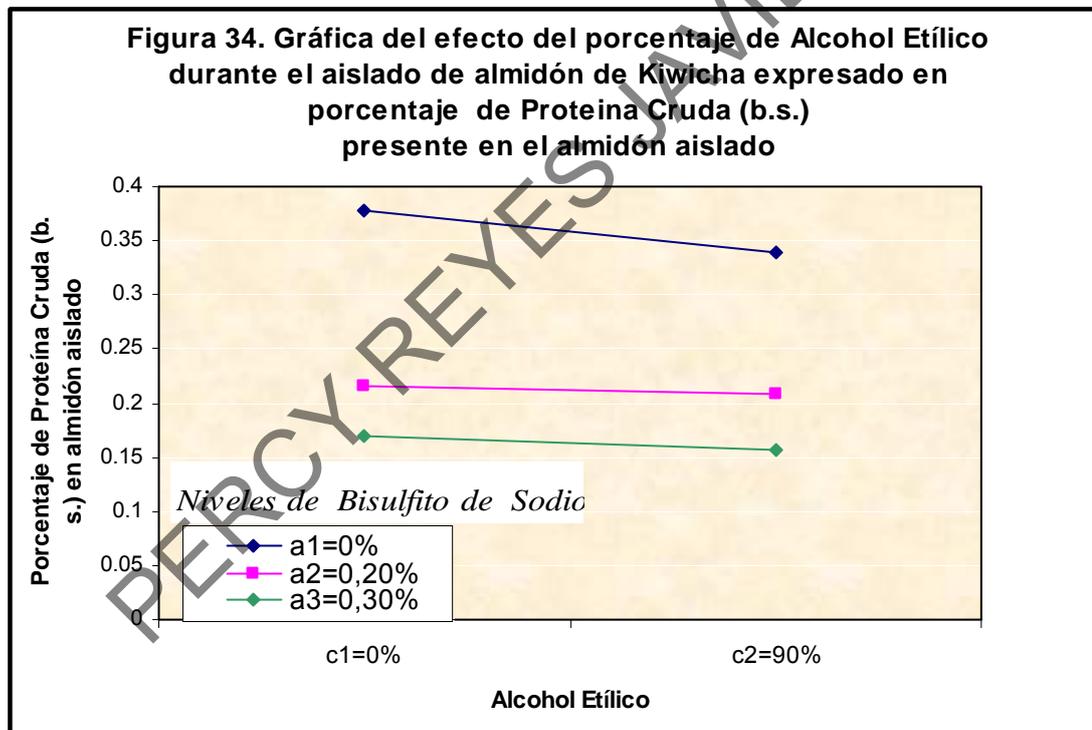
Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F <sub>Calc</sub>	P-Value	Sig
% Bisulfito de sodio	2	0,74727	0,37364	6 195, 17	0, 000	*
% NaOH	2	1,10144	0,55072	9 131, 30	0, 000	*
% Alcohol etílico	1	0,00979	0,00979	162, 40	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH x % Alcohol etílico	4	0,02188	0,00547	90, 71	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH	4	0,25481	0,06370	1 056, 25	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % Alcohol etílico	2	0,00524	0,00262	43, 48	0, 000	*
% NaOH x % Alcohol etílico	2	0,00834	0,00417	69, 14	0, 000	*
Error	90	0,00543	0,00006			
<b>Total</b>	107	2,15421				

En el análisis de variancia para el contenido de proteína residual presente en los almidones aislados de kiwicha variedad Centenario Cuadro 15, mostró a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que todos los efectos principales y todos los efectos de interacción resultaron ser significativos (todos ellos son diferentes) al evaluar la proteína cruda b.s. (%) residual presente en el almidón aislado, en un experimento factorial con submuestreo o subunidades



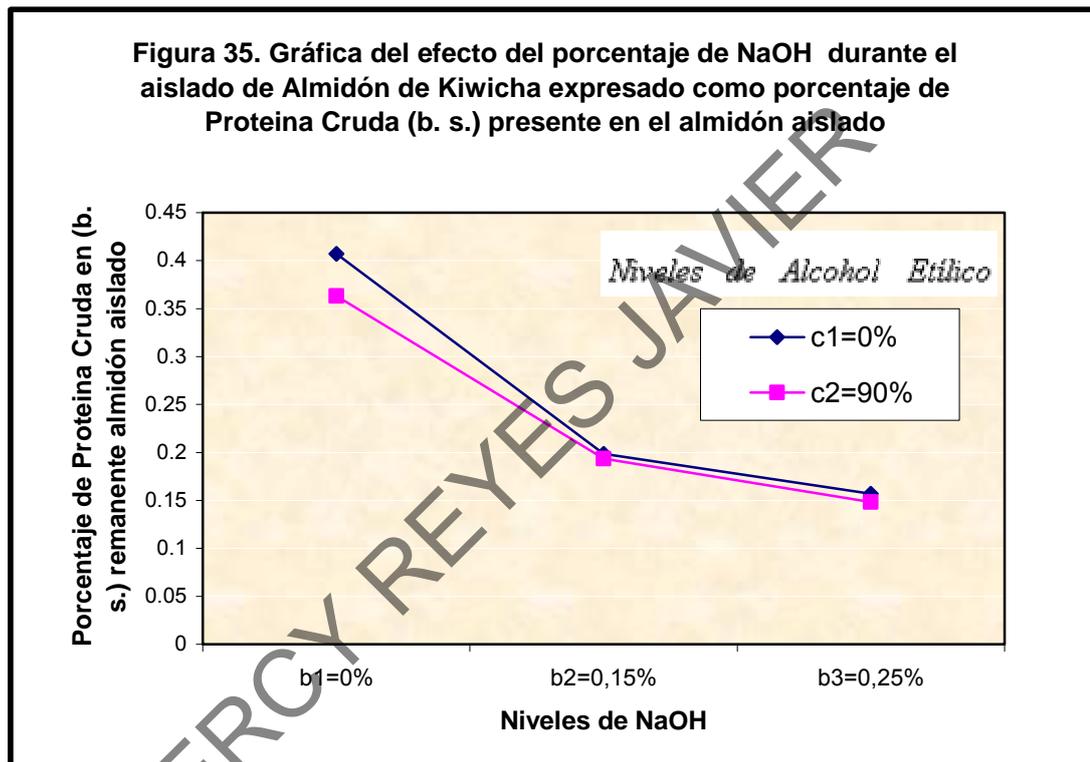
En la Figura 33, se aprecia una fuerte interacción entre estos dos factores, dado los tres niveles de bisulfito de sodio, el promedio porcentual de proteína cruda remanente en el almidón aislado, disminuyó al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%) y luego se redujo al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25%); el mayor promedio porcentual de proteína cruda remanente, se produjo sin la presencia de NaOH y bisulfito de sodio. Esta tendencia a la reducción de las concentraciones de proteína cruda residual fue reportada por (Lim *et al.*, 1999) quienes investigaron almidones aislados de arroz empleando múltiples extracciones de 2 horas cada una a 20° C. Concentraciones de NaOH de 0,1 y 0,2%, obtuvo una reducción de casi el doble, sin embargo trabajando con solución de 0,1% (cuarta extracción) logro pasar de 6,47% a 4% de proteína residual y trabajando con 0,2% de NaOH redujó el contenido de 6,47% a 2%. Estos investigadores también evaluaron una mezcla llamada Dodecil benceno formada (0,12% de bisulfito de sodio y 1,2% de lauril sulfato de sodio) logrando disminuir la proteína

residual 6,47% a 0,35%; esto demuestra la acción del bisulfito de sodio para facilitar la remoción de proteína del almidón de kiwicha (Figura 19) ya que para cada nivel incrementado de bisulfito de sodio, existe un menor contenido de proteína residual. Además Lim *et al.* (1999) citan el empleo de un surfactante para potenciar la acción del bisulfito de sodio. Ssiroth *et al.* (1998) encontraron similares concentraciones de proteína cruda residual en almidón aislado de raíces de yuca, tratados con y sin bisulfito de sodio a concentraciones de 0,4g / kg de raíz y 0,0g / kg, mostrando un remanente de proteína cruda de  $0,14 \pm 0,02$  % y  $0,13 \pm 0,02$  % respectivamente.



En la Figura 34, se observa una interacción moderada entre estos dos factores, dado los tres niveles de bisulfito de sodio, el promedio porcentual de proteína cruda residual presente en el almidón aislado de kiwicha disminuyó al pasar al segundo nivel de alcohol etílico (90%). El mayor promedio porcentual de proteína cruda residual, se produce sin la presencia de alcohol etílico y bisulfito de sodio. Bello – Pérez *et al.* (2000) estudiaron almidones extraído de banana variedad Macho utilizando una solución de

bisulfito de sodio 1,22 g / L y mezclas de soluciones alcohólica alcalina (NaOH 3M y etanol entre 40 a 60%), encontrando almidones con bajo contenido de proteína cruda residual, registrando la información siguiente: a) 40% de etanol a 25° C; b) 60% de etanol a 25° C los contenidos de proteína cruda remanente fueron de  $0,7 \pm 0,1$  y  $0,4 \pm 0,1\%$  respectivamente.



En la Figura 35, se aprecia una fuerte interacción entre los niveles de alcohol etílico e hidróxido de sodio debido al cruce de líneas; dado los dos niveles de alcohol etílico, reflejan una reducción en el promedio porcentual de proteína cruda remanente en el almidón aislado, al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%), luego otra vez se redujo al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25%). Precisándose que el mayor promedio de proteína cruda remanente en el almidón aislado de kiwicha se produjo sin la presencia de NaOH y de alcohol etílico. Estos resultados expuestos en la Figura 35 son congruentes con lo expuesto por (Pérez *et al.*, 1993) los cuales emplearon un remajo de granos de *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus* durante 24

horas en una solución de 0,25% de NaOH, obtenido en el almidón aislado una concentración de proteína cruda remanente de 0,13%.

Como los resultados de los efectos principales y sus interacciones muestran diferencias significativas Cuadro 15, se realizó la prueba de Tukey para verificar el efecto de los niveles de cada factor respecto al contenido porcentual de proteína cruda residual en el almidón aislado.

En el anexo E Cuadro 2 se aprecia que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el promedio porcentual de proteína cruda remanente del primer nivel de bisulfito de sodio difiere de los otros dos niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el promedio del segundo nivel de bisulfito de sodio con el tercer nivel al evaluar el promedio porcentual de proteína cruda presente en el almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

A un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el promedio porcentual de proteína cruda remanente en el almidón aislado del primer nivel sin la presencia de NaOH difiere de los otros dos niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el promedio de proteína cruda del segundo nivel de NaOH (0,15%) con el del tercer nivel al evaluar el promedio porcentual de proteína cruda remanente en el almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario Cuadro 3 del anexo E.

En el Cuadro 4 del anexo E, se aprecia que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el promedio porcentual de proteína cruda remanente del primer nivel de alcohol etílico difiere con el del segundo nivel de ese tipo de alcohol al evaluar el promedio porcentual de proteína cruda remanente del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

#### 4.6.2 Análisis del contenido de grasa presente en el almidón aislado.

En el Cuadro 1 del anexo F, se visualiza el contenido de grasa residual promedio de los almidones aislados, utilizando diferentes concentraciones porcentuales de bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y alcohol etílico, dichas concentraciones fluctuaron entre 0,01 a 7,6%. Pérez *et al.* (1993) refieren que un amplio rango de grasa residual presente en el almidón aislado es consecuencia del método empleado.

La menor concentración porcentual de grasa cruda promedio fue de 0,01%; lograda con remojo de los granos de kiwicha en bisulfito de sodio 0,30%, centrifugada con solución de NaOH (0,25%) y alcohol etílico al 90%. Este resultado es congruente con lo reportado por (Mundigler, 1998) para almidón aislado de granos de *Amaranthus cruentus*, los cuales fueron desgrasados con éter de petróleo a 62° C – 64° C durante el aislamiento, registrando una concentración de grasa cruda remanente de 0,01% en el almidón. Pérez *et al.* (1993) y Choi *et al.* (2004) citan concentraciones de grasa cruda remanente presente en almidones aislados provenientes de granos de *Amaranthus cruentus* la cual asciende a 0,12% y 0,1% respectivamente; ambas extracciones se efectuaron empleando una concentración de 0,25% de hidróxido de sodio. Registros superiores de grasa cruda fueron reportados por (Marcone, 2001) para *Amaranthus pumilus* y *Amaranthus hypochondriacus*, siendo estas 1,1% y 0,87% respectivamente. Asimismo Uriyapongson y Rayas – Duarte (1994) citados Bello – Pérez *et al.* (1998) citan un contenido de lípidos totales residuales de 1,23% en el almidón aislado de granos de *Amaranthus cruentus*, obtenido por proceso de molienda húmeda.

Almidones aislados de otras especies vegetales contienen cantidades mínimas de grasa residual en sus almidones, tales es el caso de el almidón de Okenia  $0,17 \pm 0,02\%$  que es mayor al contenido de grasa presente en el almidón de maíz  $0,10 \pm 0,05\%$  (Sánchez – Hernández *et al.*, 2002). Sin

embargo dependiendo del método de extracción del almidón, la proporción de grasa residual se incrementa, tal es el caso del almidón aislado de banana no maduras, el contenido de grasa residual fue de  $2,46 \pm 0,3\%$  (Bello – Pérez *et al.*, 1998).

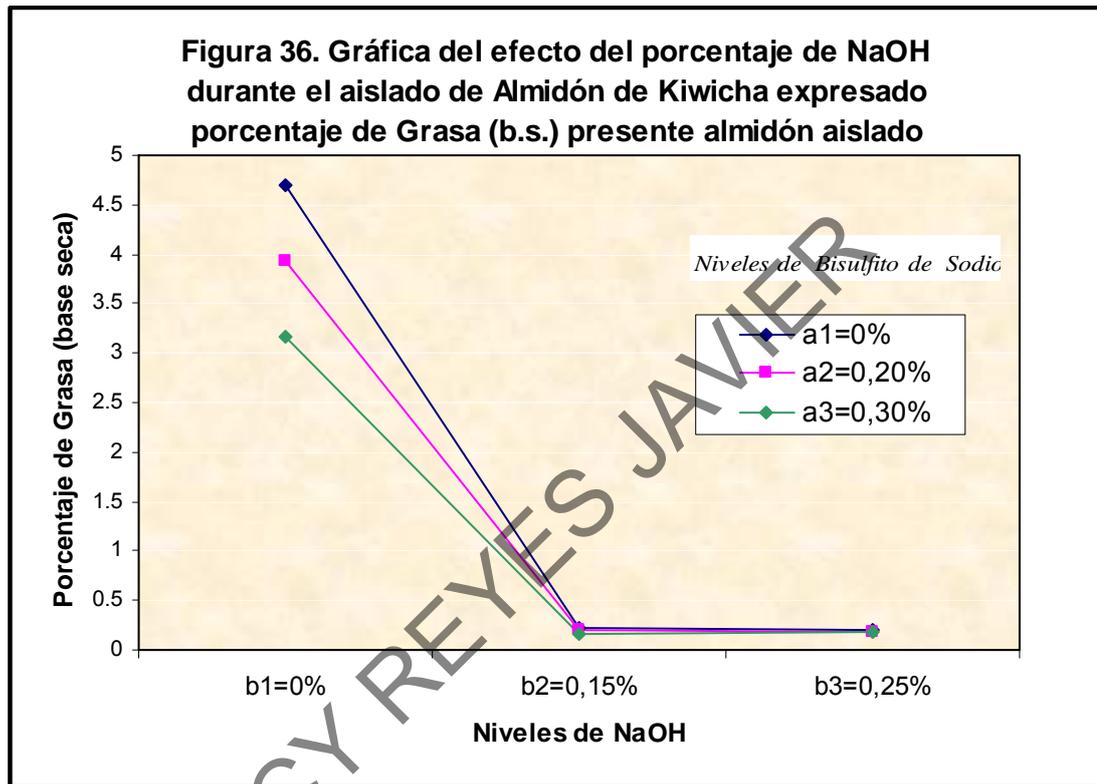
Para el caso de tubérculos y raíces donde la proporción de grasa presente en ellos, es menor en comparación a la grasa residual presente en la harina integral de kiwicha; los almidones aislados de dos variedades de camote “Naranja profundo” y “Púrpura profundo” tuvieron una concentración de grasa residual de  $0,2 \pm 0,1\%$  y  $0,1\%$  (Jangchud *et al.*, 2003). El almidón aislado de *Oxalis tuberosa* registró un contenido de grasa residual de  $0,52 \pm 0,01\%$  (Hernández – Lauzardo *et al.*, 2004).

**Cuadro 16. Análisis de variancia para el contenido de grasa residual en el almidón extraído de los granos de Kiwicha variedad Centenario**

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F <sub>Calc</sub>	P-Value	Sig
% Bisulfito de sodio	2	5,154	2,577	137,20	0,000	*
% NaOH	2	335,973	167,986	8 943,38	0,000	*
% Alcohol etílico	1	89,673	89,673	4 774,09	0,000	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH x % Alcohol etílico	4	3,265	0,816	43,46	0,000	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH	4	8,788	2,197	116,97	0,000	*
% Bisulfito de sodio x % Alcohol etílico	2	1,378	0,689	36,69	0,000	*
% NaOH x % Alcohol etílico	2	135,308	67,654	3601,81	0,000	*
Error	90	1,690	0,019			
<b>Total</b>	<b>107</b>	<b>58,230</b>				

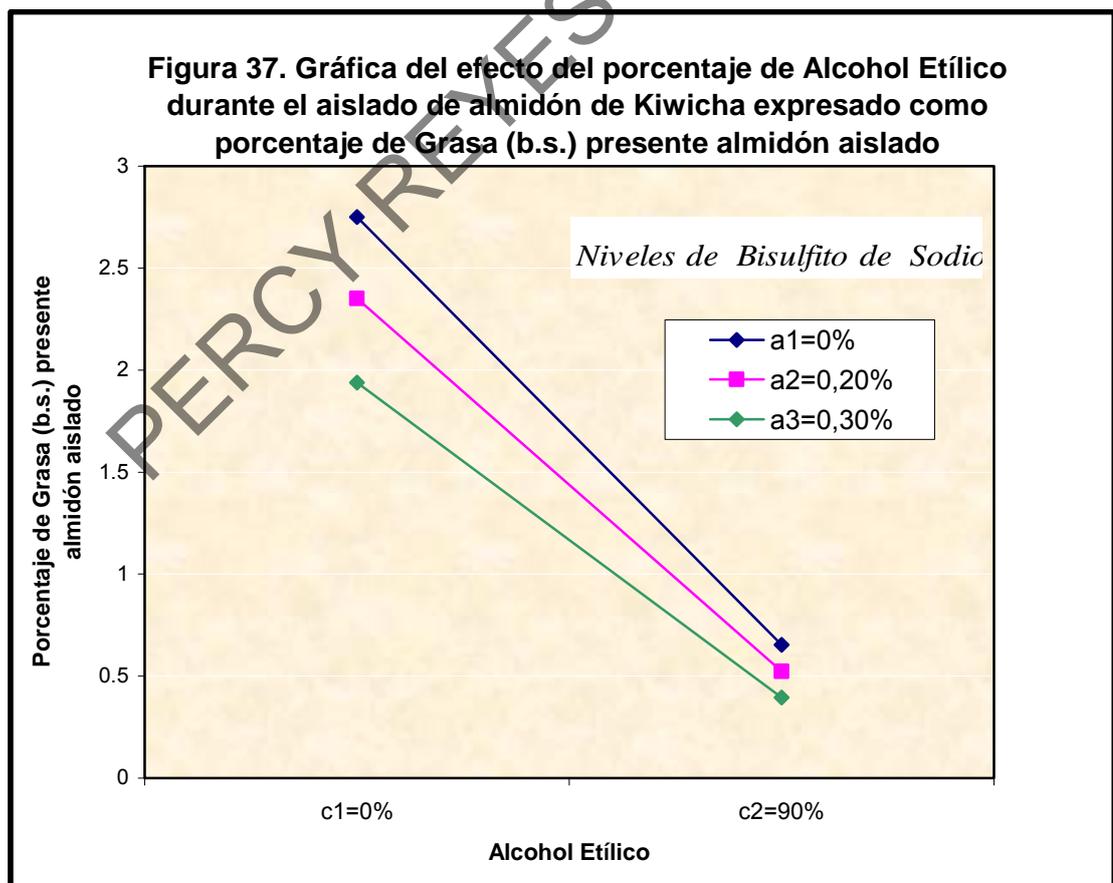
En el Cuadro 16, se muestra que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que todos los efectos principales y todos los efectos de interacción resultaron ser

significativos al evaluar el porcentaje de grasa remanente expresado en base seca presente en el almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario, en un experimento factorial con submuestreo o subunidades.



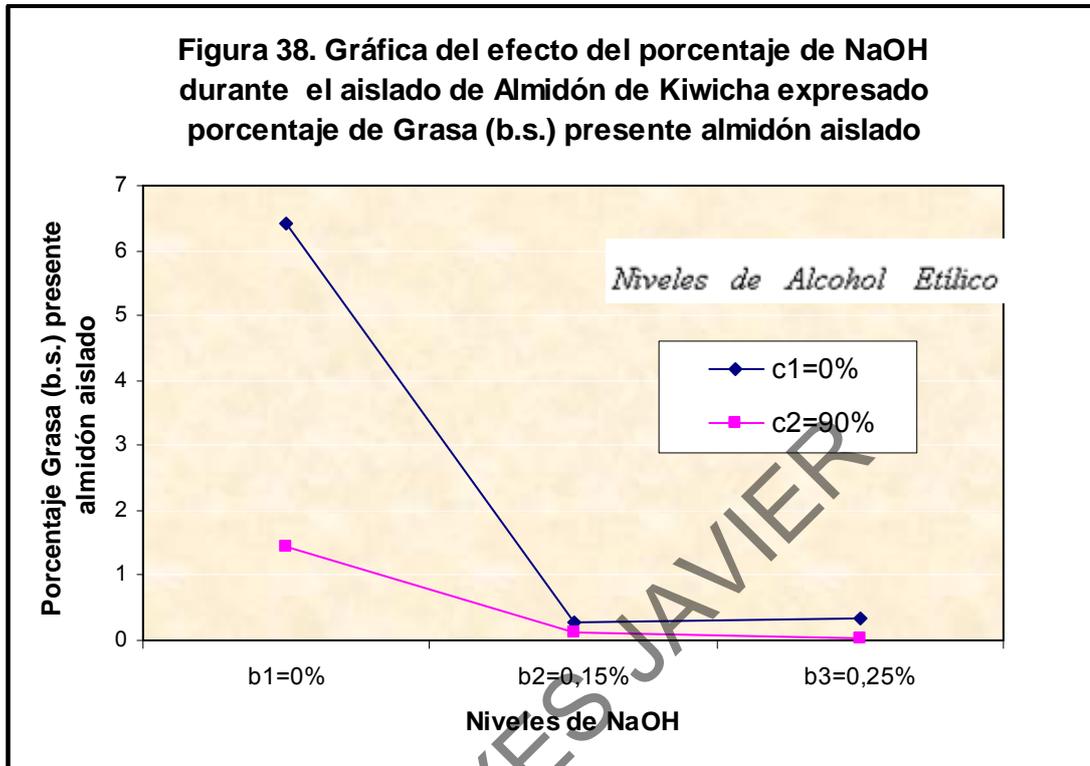
En la Figura 36, se puede visualizar una fuerte interacción entre estos dos factores (niveles de NaOH y bisulfito de sodio); para un nivel de bisulfito de sodio que produce un promedio porcentual de grasa remanente en el almidón, este contenido disminuyó al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%) y luego se produjo una mínima reducción al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25%), el mayor promedio de grasa residual expresado en base seca, se produce sin la presencia de NaOH y de bisulfito de sodio. Sin embargo el paso de este nivel al siguiente nivel de bisulfito de sodio mantenido el primer nivel de NaOH (0,0%) se logra reducir las concentración de grasa residual, esto puede ser explicado debido a que el sulfito en presencia del oxígeno puede tener un efecto pro – oxidante, causando el decrecimiento del peso molecular del almidón (Paterson *et al.*, 1997) y en tal

sentido exponiendo a los lípidos presentes en la superficie del gránulo de almidón y a los asociados a la amilosa, logrando con ello facilitar su remoción, sin embargo eso no es muy efectivo ya que pasando al segundo nivel de NaOH los tres niveles de bisulfito de sodio contribuyen de igual forma, debido a la facilidad de remoción de los lípidos asociados con proteína y de los lípidos expuestos por parte del hidróxido de sodio (0,15%). Siroth *et al.* (1998) encontraron que almidones tratados con (0,4g de bisulfito / kg de raíz de yuca) y sin bisulfito durante la extracción, tuvieron el mismo porcentaje remanente de grasa en el almidón aislado, registrando  $0,03 \pm 0,1\%$ ; además el efecto facilitado por el bisulfito es a nivel de la superficie del gránulo de almidón, esta situación explicaría lo sucedido en el segundo nivel de NaOH (0,15%).



En la Figura 37 se muestra una moderada interacción entre estos dos factores (alcohol etílico y bisulfito de sodio), dado los tres niveles de bisulfito de sodio, registrados como promedio porcentual de grasa residual expresada en base seca. El almidón aislado disminuyó al pasar al segundo nivel de alcohol etílico. El mayor promedio porcentual de grasa residual en base seca se produce sin la presencia de alcohol etílico y de bisulfito de sodio. El alcohol etílico permite la remoción de grasa del almidón con gran facilidad, al respecto Chiou *et al.* (2002) describe el estudio realizado en muestras harina de arroz desgrasadas con alcohol etílico (25mL, 70%) a 70°C durante 30 minutos en un equipo Soxhlet para luego ser centrifugado (2 veces, eliminando sobrenadante) 3,000 x g por 15 minutos, obteniéndose un almidón completamente desgrasado.

Bello – Pérez *et al.* (2000) investigaron las propiedades de los almidones de banana (extraídos mediante maceración inicial en bisulfito de sodio 1,22 g/L), luego tratados con una solución alcohólica – alcalina consistente en 40% de etanol a 25° C y 60% de etanol a 25° C, encontraron en los almidones purificados un contenido porcentual de grasa residual de  $0,02 \pm 0,1\%$  y  $0,01 \pm 0,01\%$  respectivamente. La investigación citada sustenta que incrementos en la concentración de etanol producen un menor contenido de grasa residual en el almidón.



La Figura 38, se aprecia una fuerte interacción entre estos dos factores (niveles de NaOH y alcohol etílico); dados los dos niveles de alcohol etílico, expresado como porcentaje de grasa presente en el almidón aislado; este porcentaje disminuyó al pasar de 0,15% a 0,25% de NaOH; la reducción observada en el segundo nivel de alcohol etílico es muy pequeña. El mayor promedio porcentual de grasa residual expresado en base seca presente en el almidón aislado, se produce sin la presencia de NaOH y alcohol etílico.

Como los resultados de los efectos principales y sus interacciones muestran diferencias significativas (Cuadro 16), se realizó la prueba de Tukey para verificar el efecto de los niveles de cada factor respecto al contenido porcentual de grasa residual en el almidón aislado.

En el Cuadro 2 del anexo F se observa a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el promedio porcentual de grasa residual en base seca, presente en el almidón

aislado empleando el primer nivel de bisulfito de sodio (0,0%) difiere de los otros dos niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el promedio de grasa del segundo nivel de bisulfito de sodio (0,15%) con el del tercer nivel (0,30%) al evaluar el promedio porcentual de grasa en b.s., presente en el almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

A un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el promedio porcentual de grasa residual del primer nivel de NaOH (0,0%) difiere de los otros dos niveles. Pero no sucede lo mismo al comparar solo el promedio de grasa residual del segundo nivel de NaOH (0,15%) con el del tercer nivel NaOH (0,25%) al evaluar el promedio porcentual de grasa residual expresada en base seca presente en el almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario (Cuadro 3 del anexo F).

En el Cuadro 4 del anexo F se visualiza a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el promedio porcentual de grasa residual en base seca, del primer nivel de alcohol etílico (0,0%) difiere con el del segundo nivel de ese tipo de alcohol etílico (90%) al evaluar el promedio porcentual de grasa residual en base seca, del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

#### **4.6.3 Análisis del contenido de fibra cruda presente en el almidón aislado**

En el Cuadro 1 del anexo G, se muestra los contenidos de fibra cruda residual presentes en el almidón aislado por cada tipo de tratamiento recibido. Los contenidos de fibra cruda residual porcentual variaron de sin presencia (no detectado por la resolución del método empleado) a 0,97%. Diversos investigaciones trabajaron con el almidón aislado de granos del género *Amaranthus* reportando concentraciones de fibra cruda residual que fluctúan desde sin cuantificación (Choi *et al.*, 2004; Marcone, 2001; Yanez *et*

*al.*, 1986 y Bello – Pérez *et al.*, 1998) hasta concentraciones discriminadas respecto a la solubilidad de la fibra residual presente en el almidón aislado, siendo el estudio de (Murdigler, 1998) en almidones aislados provenientes de *Amaranthus cruentus* y *Chenopodium quinoa*, concentraciones de fibra soluble (f. s.) y fibra insoluble (f. i.) los cuales son: 0,80% y 0,32%; 0,14% y 0,42% respectivamente. Adicionalmente para aislados de almidón distintos al genero *Amaranthus*, se tienen reportes de presencia de fibra cruda residual, acorde con las investigaciones de (Betancur – Ancona *et al.*, 2004 y Jangchud *et al.*, 2003) para *Phaseolus lunatus* y para dos variedades de camote de las variedades “Naranja profundo” y “Púrpura profundo” determinando en ellos contenidos de fibra cruda residual  $6,7 \pm 0,02\%$ ; 0,2% y 0,4% respectivamente. Esta variabilidad se sustenta en lo afirmado por (Moorthy, 2002) quien menciona que el contenido de fibra cruda en el almidón varia en gran amplitud dependiendo del tamiz empleado para remover el material fibroso, la variedad y estado de madurez fisiologica del vegetal. Para el caso de la presente investigación se procedió a retirar la fibra cruda empleando tamices los cuales se aprecian en la Foto 20, el proceso de tamizado se visualiza en la Foto 21. Las partículas retenidas mayores a la abertura estandar se aprecian en la Foto 22. La fibra cruda retenida luego del tamizado correspondiente a varios tratamientos, se aprecia en la Foto 23.



Foto 20. Tamices empleados durante el proceso de extracción del almidón de kiwicha. Números de mayor a menor apertura son: 60; 100; 140 y 200



Foto 21. Tamizado de la kiwicha molida en húmedo. Permittedose el paso de las partículas finas menores a  $75\mu\text{m}$ . Retirando la fibra cruda.



Foto 22. Retenidos en el tamiz número 60 compuestos de partículas mayores a  $250\mu\text{m}$



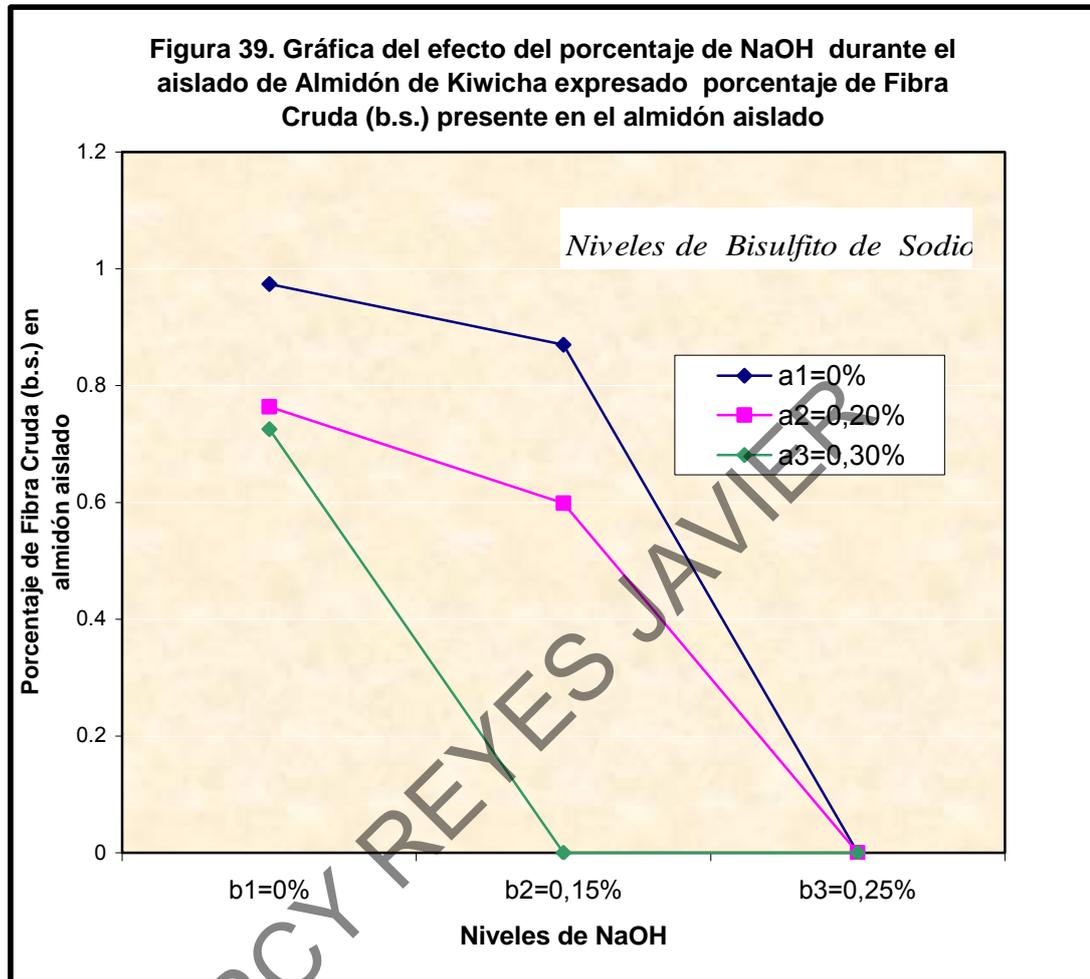
Foto 23. Fibra cruda retenida luego, acumulada para su eliminación.

**Cuadro 17. Análisis de variancia para el contenido de fibra cruda residual expresado en porcentaje, presente en el almidón aislado de los granos de Kiwicha variedad Centenario**

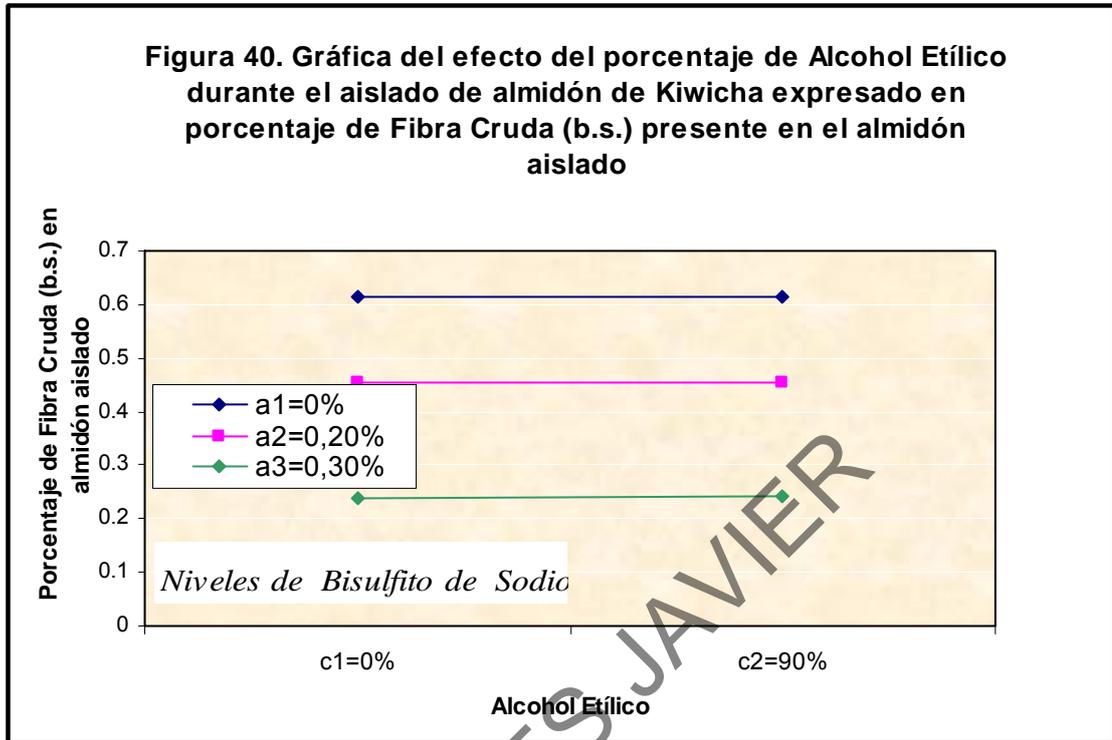
Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F <sub>Calc</sub>	P-Value	Sig
% Bisulfito de sodio	2	2, 5185	1, 2592	20 543, 95	0, 000	*
% NaOH	2	12, 2812	6, 1406	100 181,97	0, 000	*
% Alcohol etílico	1	0, 0001	0, 0001	2, 11	0, 150	n.s
% Bisulfito de sodio x % NaOH x % Alcohol etílico	4	0, 0007	0, 0002	3, 03	0, 022	*
% Bisulfito de sodio x % NaOH	4	2, 6679	0, 6670	10 881, 56	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % Alcohol etílico	2	0, 0000	0, 0000	0, 22	0, 802	n.s
% NaOH x % Alcohol etílico	2	0, 0003	0, 0001	2, 23	0, 114	n.s
Error	90	0, 0055	0, 0001			
<b>Total</b>	107	17, 4742				

En el Cuadro 17, se muestra a un nivel de significación de 0,05; se concluye que no es significativa la interacción principal del alcohol etílico, lo mismo sucede en la interacción del bisulfito de sodio con el alcohol etílico y el NaOH con el alcohol etílico, pero el resto de los efectos resultaron ser significativos al evaluar el porcentaje de fibra cruda residual expresado en base seca, del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

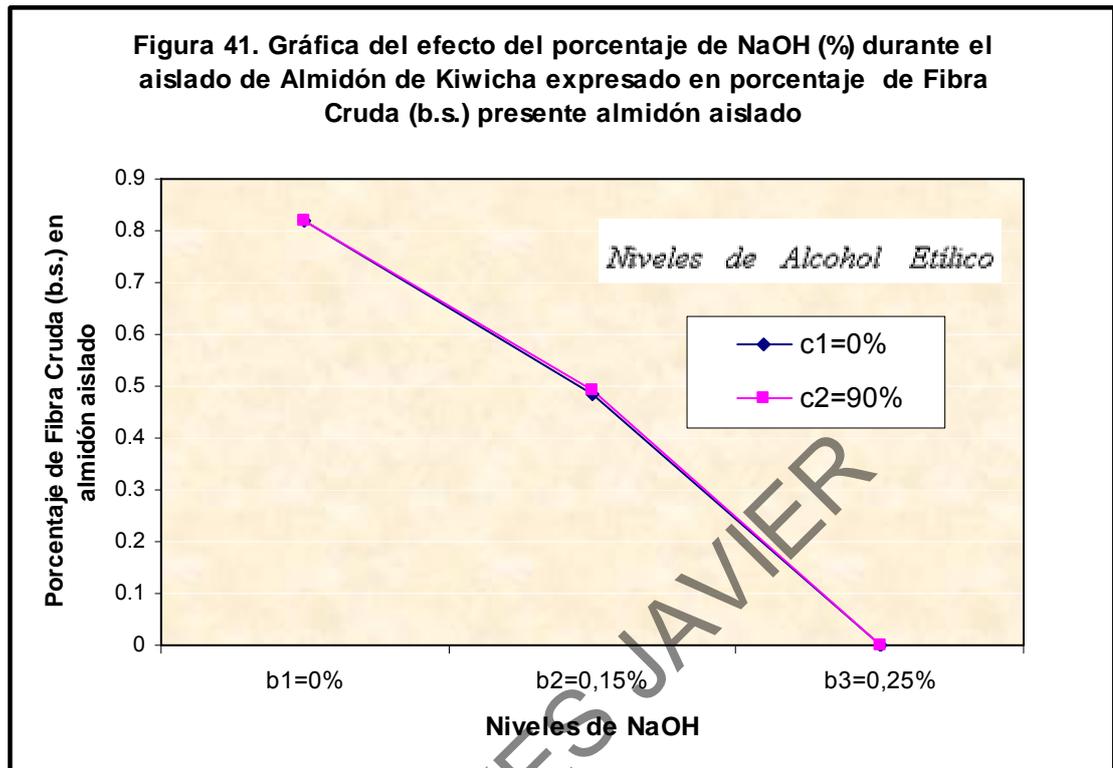
En la Figura 39 se puede apreciar que la interacción entre estos dos factores es fuerte (niveles de NaOH y bisulfito de sodio), dado los tres niveles de bisulfito de sodio, el promedio porcentual de fibra cruda residual presente en el almidón aislado disminuyó al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%) y luego se redujo otra vez al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25%), el mayor promedio porcentual de fibra cruda residual se produce sin presencia de NaOH y bisulfito de sodio. Esto puede ser explicado como consecuencia de la remoción de la proteína y grasa conjuntamente con la fibra cruda, siendo efectuada por el NaOH luego de la centrifugación.



En la Figura 40, se puede apreciar que no hay interacción entre estos dos factores (alcohol etílico y bisulfito de sodio), esto quiere decir que son independientes, dado los tres niveles de bisulfito de sodio respecto al promedio de fibra cruda residual presente en el almidón aislado de kiwicha no varía al pasar al segundo nivel de alcohol etílico (90%). Este resultado observado es congruente con lo reportado por (Moorthy, 2002) quien cita que ninguno de los almidones desgrasados empleando etanol no produjo cambio alguno que muestre una influencia de la fibra en el almidón.



En la Figura 41, no se aprecia interacción entre estos dos factores (NaOH y alcohol etílico) quiere decir que son independientes con respecto a la disminución del promedio porcentual de fibra cruda en base seca al pasar por el segundo (0,15%) y tercer nivel de NaOH (0,25%). Pero se debe precisar que solo para los incrementos en concentración de NaOH se encuentra una disminución en los niveles de fibra cruda residual presente en el almidón aislado de kiwicha.



Para los resultados de los efectos principales y sus interacciones que muestran diferencias significativas Cuadro 17, se realizó la prueba de Tukey para verificar el efecto de los niveles de cada factor respecto al contenido porcentual de fibra cruda residual en el almidón aislado.

En el Cuadro 2 del anexo G se muestra que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el promedio porcentual de fibra cruda residual del primer nivel de bisulfito de sodio (0,0%) difiere de los otros dos niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el promedio porcentual de fibra cruda residual del segundo nivel de bisulfito de sodio (0,15%) con el del tercer nivel (0,30%), al evaluar el promedio de fibra cruda expresado en base seca del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

A un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el promedio de fibra cruda del primer nivel de NaOH (0,0%) difiere de los otros dos niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el promedio de fibra cruda del segundo nivel de NaOH (0,15%) con el del tercer Nivel (0,25%), al evaluar el promedio de fibra cruda (%) residual expresada en base seca del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario (cuadro 3 del anexo G).

En el Cuadro 4 del anexo G se muestra que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que no hay evidencia estadística para afirmar que el promedio fibra cruda base seca (%) del primer nivel de alcohol etílico (0.0%) difiere con el del segundo nivel de alcohol etílico (90%), al evaluar el promedio porcentual de fibra cruda residual expresada en base seca presente en el almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

#### **4.6.4 Análisis del contenido de ceniza presente en el almidón aislado**

En el Cuadro 1 del anexo H, se muestra los contenidos de ceniza residual presentes en el almidón aislado por cada tipo de tratamiento recibido. Los contenidos porcentuales de fibra cruda residual variaron de 0,11% a 0,72%. Estos resultados se explican por el retiro de la fracción amarillenta negrusca compuesta de proteína, grasas y fibra a la vez se elimino la fracción de ceniza ya que luego del empleo de cualquier solvente se procedía a lavar con agua destilada tal como se aprecia en la Fotos 3 y 4. Además Tester *et al.* (2003) citan que los almidones aislados contienen relativamente pequeñas cantidades de minerales (< 0,4%), por lo que podemos decir que aquellos almidones con menos de 0,4% de cenizas pueden ser considerados como purificados. Asimismo diferentes investigaciones realizadas respecto aislado de almidón de granos del genero *Amaranthus* reportaron concentraciones residuales de ceniza elevadas siendo estas, (Choi *et al.*, 2004) 1,2%; (Marcone, 2001; Lopez *et al.*, 1994, Yanez *et al.*, 1986 y Bello –

Pérez *et al.*, 1998) reportaron 1,3%; 1,39%; 1,39% y  $0,12 \pm 0,02\%$  respectivamente para almidón aislado de *Amaranthus hypochondriacus*. Además Murgler (1998) reporta para almidones aislados provenientes de *Amaranthus cruentus* y *Chenopodium quinoa* concentraciones de ceniza de 0,08% y 0,34%. Pérez *et al.* (1993) citan concentraciones de ceniza en almidón de *Amaranthus cruentus* de 0,84% tratadas con NaOH al 0,25%.

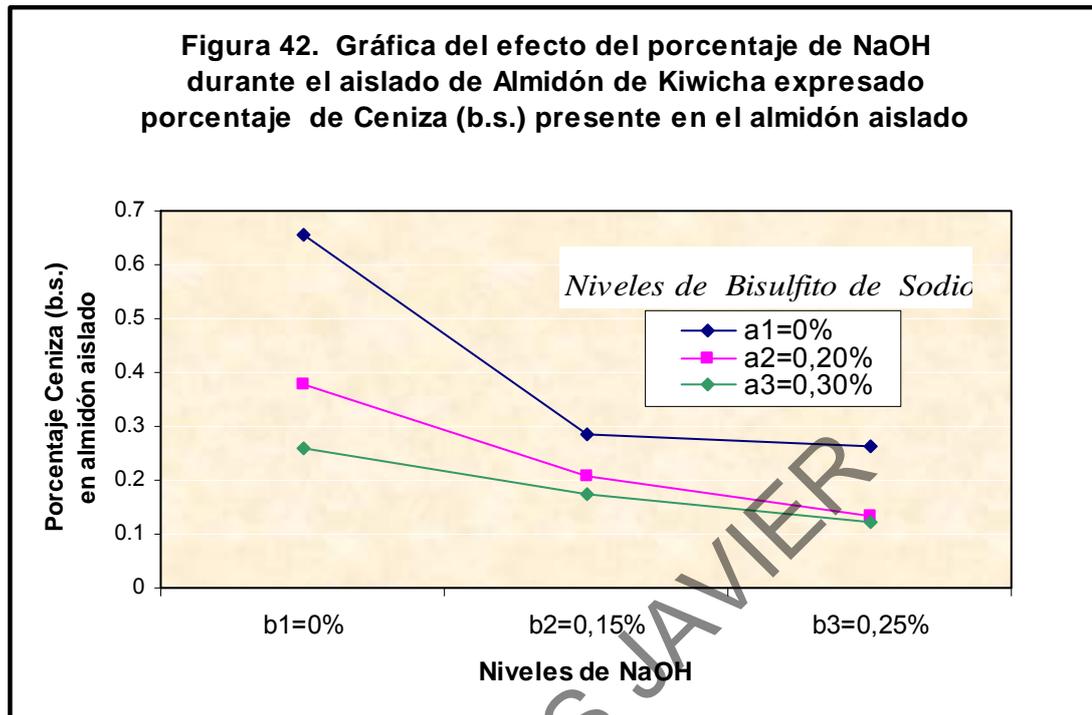
Adicionalmente para aislados de almidón distintos al género *Amaranthus*, se tienen reportes de presencia de ceniza residual. Betancur – Ancona *et al.* (2004) encontraron concentraciones de ceniza 0,14% en almidón aislado de *Phaseolus lunatus* y estudios efectuados en camote por (Jangchud *et al.*, 2003) en las variedades “Naranja profundo” y “Púrpura profundo”, encontrando contenidos de ceniza residual de 0,3%;  $0,4 \pm 0,2\%$  respectivamente.

**Cuadro 18. Análisis de variancia para el contenido de ceniza residual en el almidón extraído de los granos de Kiwicha variedad Centenario**

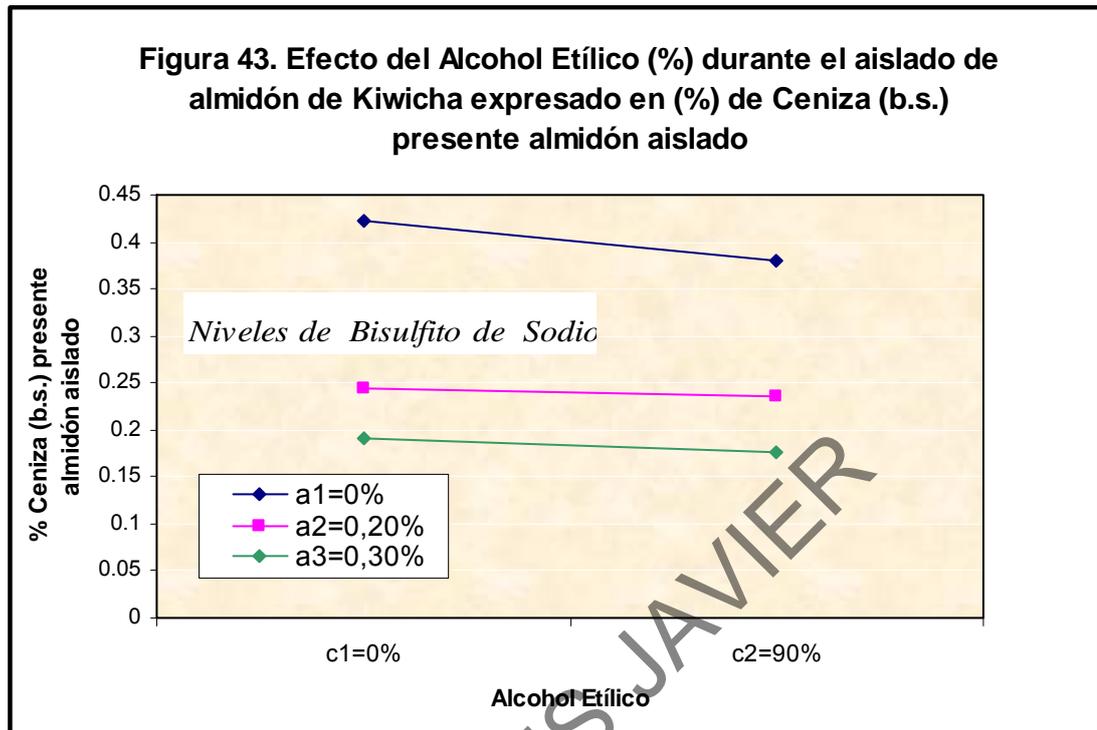
Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F <sub>Calc</sub>	P-Value	Sig
% Bisulfito	2	0,92038	0,46019	6 004,02	0,000	*
% NaOH	2	1,33367	0,66683	8 700,11	0,000	*
% Alcohol Etilico	1	0,01257	0,01257	164,04	0,000	*
% Bisulfito x % NaOH x % Alcohol Etilico	4	0,02696	0,00674	87,92	0,000	*
% Bisulfito x % NaOH	4	0,30193	0,07548	984,82	0,000	*
% Bisulfito x % Alcohol Etilico	2	0,00597	0,00299	38,96	0,000	*
% NaOH x % Alcohol Etilico	2	0,00834	0,00417	54,41	0,000	*
Error	90	0,00690	0,00008			
<b>Total</b>	107	2,61672				

En el Cuadro 18, se puede ver que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que todos los efectos principales y todos los efectos de interacción resultaron ser significativos al evaluar la concentración de ceniza residual porcentual expresada en base seca del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario en un experimento factorial con submuestreo o subunidades.

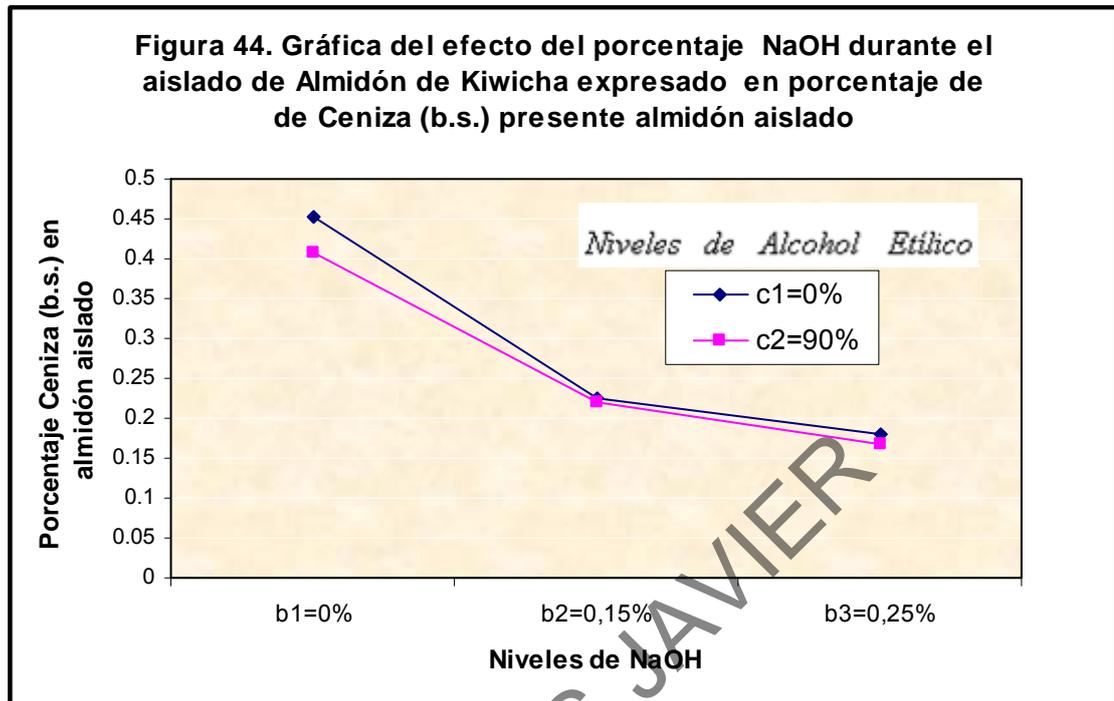
En la Figura 42, se puede observar que la interacción entre estos dos factores (NaOH y bisulfito de sodio) es fuerte, dado los tres niveles de bisulfito de sodio el promedio de ceniza residual presente en el almidón disminuyó al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%) y luego se redujo otra vez al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25%); el mayor promedio porcentual de ceniza residual en base seca se produce sin participación del NaOH y de Bisulfito. Esta información no es congruente con lo reportado por Sun y Tomkinson (2003) quienes citan concentraciones de ceniza residual porcentual presente en el almidón aislado de sago, empleando solución alcalina y agua fría, registrando los siguientes valores  $0,4 \pm 0,03\%$  y  $0,1 \pm 0,02\%$  respectivamente. Estos resultados se explican mientras se retiraba la fracción amarillenta negrusca compuesta de proteína, grasas y fibra también se retiraron fracciones de ceniza ya que luego del empleo de cualquier solvente se procedía a lavar con agua destilada tal como se aprecia en las Fotos 3 y 4.



En la Figura 43, se aprecia la interacción entre estos dos factores (alcohol etílico y bisulfito de sodio) es moderada, dado los tres niveles de bisulfito de sodio expresado como promedio de ceniza residual en el almidón aislado, este disminuyó al pasar al segundo nivel de alcohol etílico (90%). El mayor promedio de ceniza (%) residual expresada en base seca se produce sin la presencia de alcohol etílico y bisulfito de sodio. Estos resultados no son congruentes con lo reportado por (Sriroth *et al.*, 1998) quienes determinaron que el contenido de ceniza residual porcentual se mantiene constante al trabajar con 0,0% y 0,4 g bisulfito de sodio / kg de raíz de yuca, estas concentraciones residuales de ceniza fueron para ambos casos de  $0,97 \pm 0,02\%$ .



En la Figura 44, se observa una fuerte interacción entre los dos factores (NaOH y alcohol etílico) resultados del cruce de líneas, dado los dos niveles de alcohol etílico expresados como promedio de ceniza residual presente en el almidón aislado, este disminuyó al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%), luego otra vez se redujo al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25%). El mayor promedio de ceniza (%) se produce sin la presencia NaOH y de alcohol etílico. Sin embargo estos resultados son totalmente diferentes a lo reportado por (Bello – Pérez *et al.*, 2000) quienes encontraron al trabajar con almidón de banana variedad Macho extraídas con soluciones acuosas de bisulfito de sodio e hidróxido de sodio (3M), registrando un aumento en el contenido de ceniza residual como consecuencia del incremento de alcohol etílico (40% a 60%) estos valores fueron  $0,67 \pm 0,06\%$  y  $0,73 \pm 0,07\%$  respectivamente, sin embargo los contenidos de proteína, grasa residual en la misma investigación experimentaron disminuciones.



Como los resultados de los efectos principales y sus interacciones muestran diferencias significativas Cuadro 18, se realizó la prueba de Tukey para verificar el efecto de los niveles de cada factor respecto al contenido de ceniza residual en el almidón aislado.

En el Cuadro 2 del anexo H se observa que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el promedio ceniza residual correspondiente al primer nivel de bisulfito de sodio (0,0%) difiere de los otros dos niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el promedio de ceniza residual del segundo nivel con el del tercer nivel de bisulfito de sodio, al evaluar el promedio de ceniza residual expresado en base seca del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

A un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el promedio de ceniza residual correspondiente al primer nivel de NaOH (0,0%) difiere de los otros dos

niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el promedio de ceniza residual del segundo nivel (0,15%) con el del tercer Nivel (0,25%) de NaOH, al evaluar el promedio de ceniza residual (%) expresado en base seca del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario (Cuadro 3 del anexo H).

En el Cuadro 4 del anexo H se observa que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el promedio ceniza residual del primer nivel (0,0%) de alcohol etílico difiere con el del segundo nivel (90%) de ese tipo de alcohol, al evaluar el promedio de ceniza residual expresado en base seca del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

#### **4.6.5 Análisis del contenido de amilosa presente en el almidón aislado.**

En el Cuadro 1 del anexo I se muestra los contenidos de amilosa presentes en el almidón aislado por cada tipo de tratamiento recibido. Los contenidos de amilosa porcentual variaron de 3,98 a 3,22%, al respecto diferentes investigaciones realizadas respecto aislado de almidón de granos del género *Amaranthus* reportaron concentraciones de amilosa congruentes con estos resultados. Choi *et al.* (2004) encontraron una concentración de amilosa  $3,2 \pm 0,1\%$ ; (Marcone, 2001; López *et al.*, 1994 y Yanez *et al.*, 1986) citan 4,17%; 4,90% y 4,90% respectivamente para almidón aislado de *Amaranthus hypochondriacus*. Por otro lado, Qian y Kuhn (1999) refieren para almidones aislados provenientes de *Amaranthus cruentus* y *Chenopodium quinoa* concentraciones de amilosa de  $7,8 \pm 0,11\%$  y  $12,2 \pm 0,28\%$ . Hoover *et al.* (1998) citan concentraciones de amilosa en almidón de *Amaranthus cruentus* de las variedades Mexicana, África y A200D de  $3,9 \pm 0,2\%$ ;  $4,5 \pm 0,2\%$  y  $5,7 \pm 0,2\%$ .

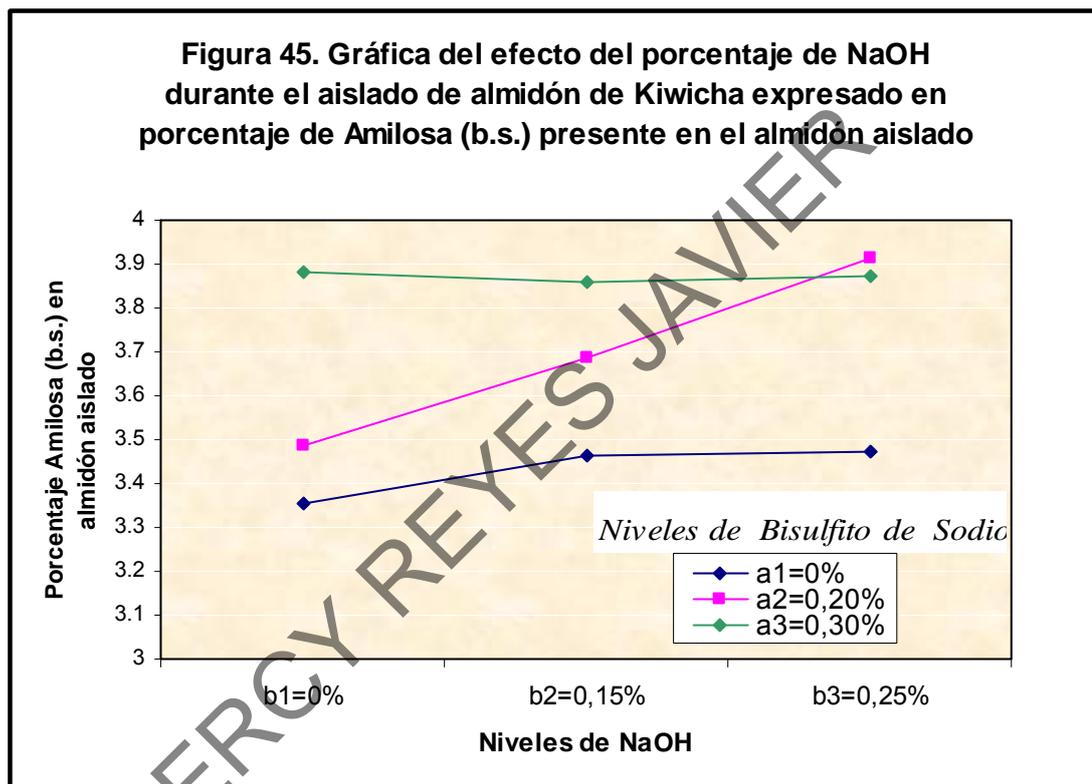
Adicionalmente para aislados de almidón distintos al género *Amaranthus*, se tienen reportes de contenidos de amilosa para (Betancur – Ancona *et al.*, 2004) citan concentraciones de amilosa 32,5% y 28,3% en almidón aislado de *Phaseolus lunatus* y *Zea mays* respectivamente. Garcia y Walter (1998) refieren que la procedencia no interviene en el contenido de amilosa, esta afirmación se sustenta en el estudio de diferentes cultivares de camote sembrados en La Molina y Cañete, encontrando que el porcentaje promedio de amilosa fluctúa entre 20,48 a 25,54%. Además Hernández – Lazuardo *et al.* (2004) citan que el contenido de amilosa en *Oxalis tuberosa* fue de  $33,0 \pm 0,5\%$ .

**CUADRO 19. Análisis de variancia para el contenido amilosa presente en el almidón extraído de los granos de Kiwicha variedad Centenario.**

Fuente de Variación	G.L	S.C.	C.M.	F <sub>Calc</sub>	P-Value	Sig
% Bisulfito de sodio	2	3, 55985	1, 77993	70, 38	0, 000	*
% NaOH	2	0, 57875	0, 28937	11, 44	0, 000	*
% Alcohol etílico	1	0, 01947	0, 01947	0, 77	0, 383	n.s
% Bisulfito de sodio x % NaOH x % Alcohol etílico	4	0, 03578	0, 00894	0, 35	0, 841	n.s
% Bisulfito de sodio x % NaOH	4	0, 63138	0, 15785	6, 24	0, 000	*
% Bisulfito de sodio x % Alcohol etílico	2	0, 02731	0, 01366	0, 54	0, 585	n.s
% NaOH x % Alcohol etílico	2	0, 40870	0, 20435	8, 08	0, 001	*
Error	90	2, 27625	0, 02529			
<b>Total</b>	107	7, 53749				

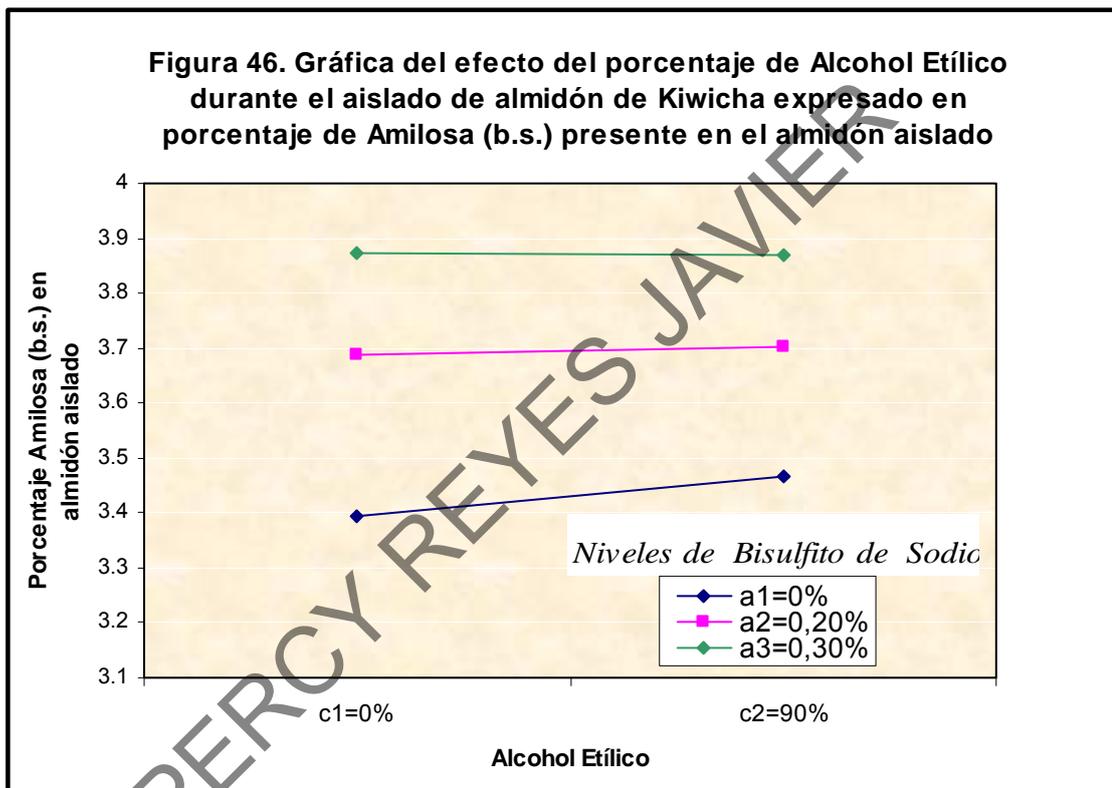
En el Cuadro 19 se puede apreciar con un nivel de significación de 0,05 se concluye que no es significativa la interacción principal del alcohol etílico, lo

mismo sucede en la interacción triple de los tres factores y además con la interacción del bisulfito de sodio con el alcohol etílico, pero el resto de los efectos resultaron ser significativos al evaluar el porcentaje de amilosa expresado en base seca del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

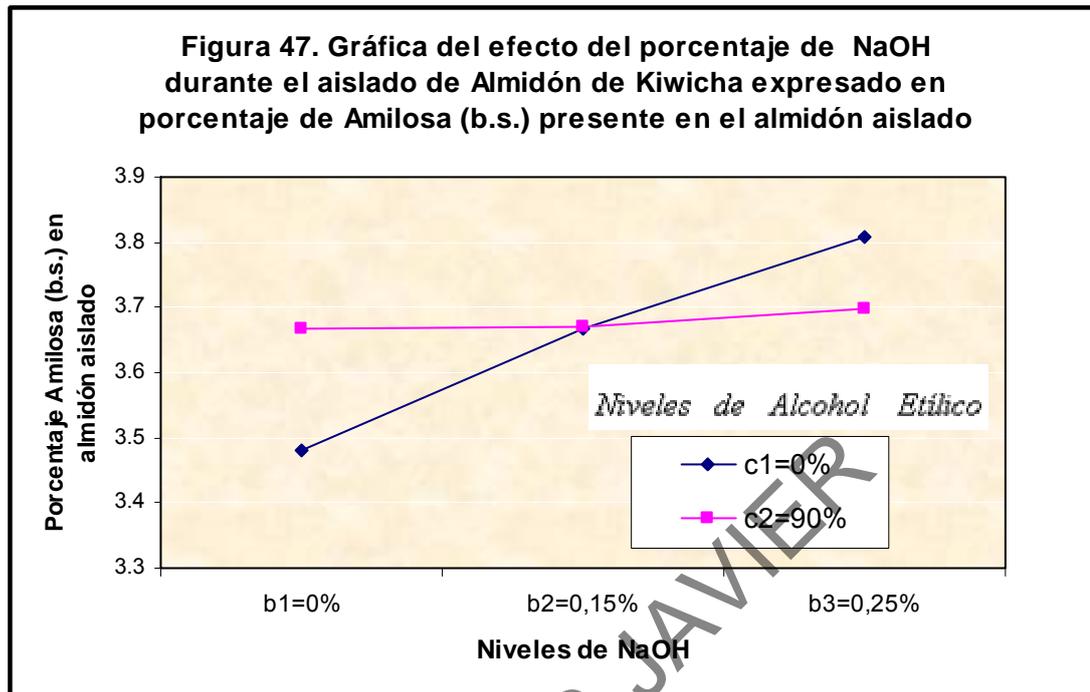


En la Figura 45, se observa una fuerte interacción entre estos dos factores (NaOH y bisulfito de sodio), dado los tres niveles de bisulfito de sodio el porcentaje promedio de amilosa presente en el almidón aumentó al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%) y luego se incrementó al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25%), el mayor porcentaje promedio de amilosa expresado en base seca se logra con 0,25 % de NaOH y con 0,20% de bisulfito de sodio. Estos resultados expresan una posible depolimerización provocada por la interacción de bisulfito de sodio e hidróxido de sodio, la depolimerización fue estudiada por (Paterson *et al.*, 1997) para concentraciones de 0,01% de bisulfito de sodio, reduciendo su efecto en

cantidades superiores o menores a esta concentración. Sin embargo Sriroth *et al.* (1998) citan que la presencia de bisulfito de sodio durante la extracción fue expresada por la estabilidad de los gránulos de almidón de yuca. Asimismo Pérez *et al.* (1993) encontraron contenidos que fluctúan entre 10,1 – 10,7% de amilosa al trabajar con NaOH al 0,25%.



En la Figura 46, se puede visualizar la falta de interacción entre los factores (bisulfito de sodio y alcohol etílico), esto quiere decir que son independientes; para los dos primeros niveles de bisulfito de sodio el contenido promedio de amilosa porcentual expresada en base seca del almidón no varió en una cantidad apreciable al pasar al segundo nivel de alcohol etílico (90%).



En la Figura 47, se observa una fuerte interacción entre los factores NaOH y alcohol etílico; para el segundo nivel de alcohol etílico (90%) el contenido promedio de amilasa porcentual expresado en base seca aumentó en menor cuantía al pasar al segundo nivel de NaOH (0,15%); luego se registro otro incremento al pasar al tercer nivel de NaOH (0,25%). El mayor contenido promedio de amilosa porcentual expresado en base seca se produce al 0,30% de NaOH y sin la presencia de alcohol etílico. Estos resultados son diferentes a los presentados por (Bello – Pérez *et al.*, 2000) quienes estudiaron almidones de banana tratadas con soluciones (alcohólicas – alcalinas), dichos tratamientos no reportaron cambio alguno en las concentraciones de amilosa de dicho almidón.

Para los resultados de los efectos principales y sus interacciones que mostraron diferencias significativas Cuadro 19, se realizó la prueba de Tukey para verificar el efecto de los niveles de cada factor respecto al contenido de amilosa porcentual del almidón aislado.

En el Cuadro 2 del anexo I, se observa que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el contenido promedio de amilosa porcentual expresado en base seca del primer nivel de bisulfito de sodio (0,0%) difiere de los otros dos niveles. Lo mismo sucede al comparar solo el contenido promedio de amilosa del segundo nivel de bisulfito de sodio (0,15%) con el del tercer nivel (0,30%) al evaluar el contenido promedio de amilosa porcentual expresado en base seca del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

A un nivel de significación de 0,05; se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el contenido promedio de amilosa del primer nivel de NaOH (0,0%) difiere de los otros dos niveles. Pero no sucede lo mismo al comparar solo el contenido promedio de amilosa del segundo nivel de NaOH (0,15%) con el del tercer nivel, al evaluar el contenido promedio de amilosa (%) expresada en base seca del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario (Cuadro 3 del anexo I).

En el Cuadro 4 del anexo I, se observa que a un nivel de significación de 0,05; se concluye que el contenido promedio de amilosa porcentual expresado en base seca del primer nivel de alcohol etílico (0,0%) no difiere con el del segundo nivel (90%) de alcohol etílico, esto quiere decir que la diferencias de medias de ambos niveles no son significativas, al evaluar el contenido promedio de amilosa porcentual en base seca del almidón aislado de granos de Kiwicha variedad Centenario.

#### **4.6.6 Análisis del contenido de humedad presente en el almidón aislado**

El contenido de humedad presente en el almidón aislado de kiwicha se muestra en el Cuadro 1 del anexo J, dichos registros fluctúan a partir de 9,60 a 13,78%, dicho rango es explicado por el tiempo empleado en obtener una muestra con una granulometría homogénea. La muestra al término del

proceso de secado, estaba completamente cohesionada formando terrones de almidón aislado, por lo tanto se procedió a romper los terrones con ayuda de un mortero para luego tamizar el almidón con la malla 200 y finalmente proceder a envasar y pesar. Estos resultados son congruentes con lo expresado por Moorthy (2002) quien reporta contenidos de humedad para varios almidones secos varía de 6 a 16%, dependiendo del proceso usado durante el secado, asimismo precisa que el máximo contenido de humedad para almacenamiento de almidón es 13%.

**4.7 Determinar el efecto producido en las variables Pureza, Índice Blancura en las escalas Hunter y CIE, debido a las concentraciones residuales (proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza total) presentes en el almidón aislado de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) variedad Centenario**

La determinación del efecto producido en las variables Pureza, Índice de blancura Hunter e Índice de blancura CIE, debido a las concentraciones residuales (proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza total) presentes en el almidón aislado de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) variedad Centenario; permite la priorización en la utilización de las soluciones en el proceso, logrando obtener mayores porcentajes de Pureza, Índice de blancura expresados en las escalas Hunter y CIE, mediante la determinación de las contribuciones en cada concentración residual presente en el almidón.

**4.7.1. Efectos en el porcentaje de pureza**

El porcentaje de pureza del almidón aislado de granos de kiwicha, es explicado por las concentraciones residuales de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza total (Cuadro 3 del anexo K). Además estas concentraciones residuales se comportan como variables predictoras, debido

a que sus coeficientes en la ecuación de regresión múltiple tienen significación estadística (Cuadro 4 del anexo K).

Aunque el Índice de blancura en la escala Hunter y el Índice de blancura en la escala CIE no tuvieron significancia en el modelo de regresión múltiple para la variable porcentaje de pureza, se determinó una relación directa y un coeficiente de determinación para el porcentaje de pureza vs Índice de blancura en la escala Hunter y el porcentaje de pureza vs Índice de blancura en la escala CIE. Estos resultados se muestran en el Cuadro 5 y Figura 2 del anexo K y Cuadro 6 y Figura 3 del anexo K respectivamente. El coeficiente de determinación del porcentaje de pureza vs Índice de blancura Hunter fue de 78,2% y porcentaje pureza vs Índice de blancura CIE fue de 77,3%.

#### **4.7.2. Efectos en el índice de Blancura en la escala Hunter**

Los registros de la variable Índice de blancura en la escala Hunter correspondientes a los almidones aislados de granos de kiwicha de la variedad Centenario son explicados por las concentraciones de proteína cruda y grasa expresado en base seca, esto puede ser observado en el Cuadro 9 del anexo K. Sus coeficientes de la ecuación de regresión múltiple resultaron ser significativos estadísticamente (Cuadro 10 del anexo K) lo cual permite proyectar el efecto de una disminución, por ejemplo si la concentración de la proteína cruda disminuye en 1,0%, el Índice de blancura Hunter aumentará en promedio aproximadamente en 10,5%, manteniendo constante la variable grasa.

#### **4.7.3. Efectos en el Índice de blancura en la escala CIE.**

En el Cuadro 13 del anexo K se puede observar que existe significancia de los efectos en conjunto de las variables predictoras sobre la variable Índice de blancura en la escala CIE, las mismas que pueden ser descritas mediante las concentraciones residuales porcentuales de proteína cruda y grasa,

presentes en el almidón asilado de granos de kiwicha. Por ejemplo al disminuir en 1,0% de proteína cruda genera un incremento en el Índice blancura CIE en 18,4%.

#### **4.8 Determinación de Conglomerados para las variables porcentaje de Pureza, Índice de Blancura en la escala Hunter e Índice de Blancura en la escala CIE.**

Es de gran importancia el ordenamiento de los registros porcentuales de Pureza, Índice de Blancura en la escala Hunter e Índice de Blancura en la escala CIE, mediante una técnica estadística, de esta forma se puede evaluar el proceso de ailsado de almidón mediante comparación respecto a tres categorías (alta, mediana y baja).

Las Figuras 48, 49 y 50 son tres dendogramas que agrupan igual número de individuos debido a que las variables porcentaje de Pureza, Índice de blancura Hunter e Índice de blancura CIE, están estadísticamente correlacionadas (Figura 1 del anexo L) y por que ellas presentan las mismas cantidades de observaciones en los conglomerados al momento de medir la similaridad.

##### **4.8.1 Determinación del Conglomerado para los Registros de la Variable índice de blancura en la escala Hunter.**

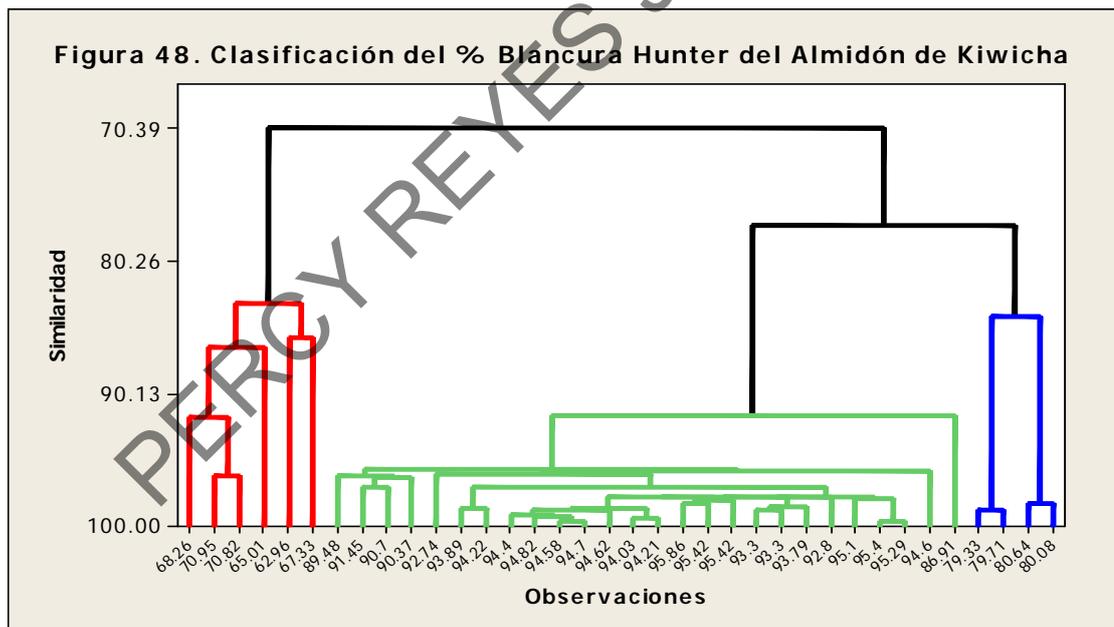
En la Figura 48 se observa la clasificación de los registros de la variable Índice de blacura en la escala Hunter, estableciendose tres conglomerados. El primer conglomerado esta conformado por seis registros de similar características (son los de menor porcentaje de blancura); el segundo conglomerado agrupo veintiséis observaciones (mayor porcentaje de blancura), y el tercer conglomerado agrupa cuatro observaciones de similares características.

En el Cuadro 20, por edición exponemos los rangos de Índice de Blancura porcentual correspondiente a cada conglomerado:

Conglomerado I Bajo índice de Blancura en la escala Hunter (%):  
62,96 –70,95 (6 registros)

Conglomerado II Alto índice de Blancura en la escala Hunter (%):  
86,91 – 95,86 (26 registros)

Conglomerado III Mediano índice de Blancura Hunter (%):  
79,33 – 80,64 (4 registros)



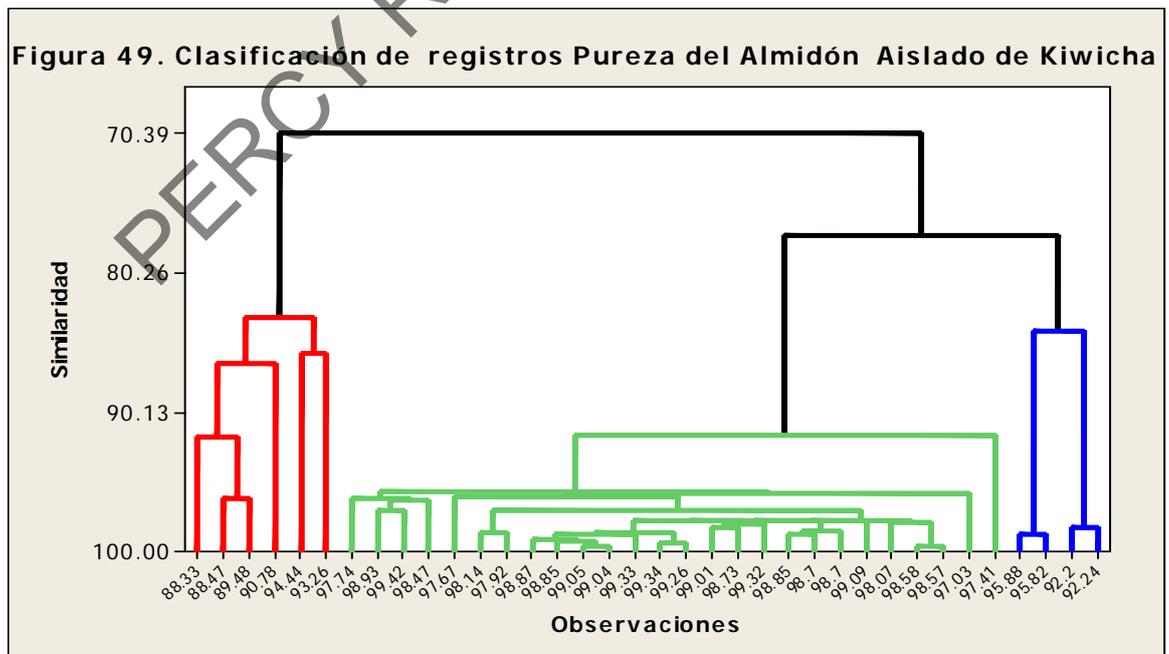
**Cuadro 20. Registros del Análisis de Conglomerado de la Variable índice de Blancura en la escala Hunter correspondiente a cada tratamiento**

Niveles de Bisulfito de sodio (%)	Niveles de NaOH (%)	Niveles de Alcohol Etilíco (%)	Registros	Conglomerado	Registros	Conglomerado
a1 (0,00)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	68,26	I	70,95	I
		c2 (90,00)	62,96	I	67,33	I
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	89,48	II	92,74	II
		c2 (90,00)	93,89	II	94,22	II
	b3 (0,30)	c1 (00,00)	94,40	II	94,82	II
		c2 (90,00)	91,45	II	93,30	II
a2 (0,20)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	65,01	I	70,82	I
		c2 (90,00)	79,33	III	79,71	III
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	95,10	II	90,37	II
		c2 (90,00)	95,40	II	95,29	II
	b3 (0,30)	c1 (00,00)	94,58	II	94,70	II
		c2 (90,00)	95,86	II	90,70	II
a3 (0,30)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	80,64	III	80,08	III
		c2 (90,00)	86,91	II	94,60	II
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	92,80	II	95,42	II
		c2 (90,00)	95,42	II	94,62	II
	b3 (0,30)	c1 (00,00)	93,79	II	93,30	II
		c2 (90,00)	94,03	II	94,21	II

#### 4.8.2 Determinación del Conglomerado para los Registros de la Variable porcentaje de Pureza.

En la Figura 49 se observa la clasificación de los registros de la variable porcentaje de Pureza; estableciéndose tres conglomerados. El primer conglomerado está conformado por seis registros de similar características (menor porcentaje de Pureza); el segundo conglomerado agrupa veintiséis observaciones (mayor porcentaje de Pureza), y el tercer conglomerado agrupa cuatro observaciones de similares características. En el Cuadro 21, por edición exponemos los rangos porcentaje de Pureza correspondiente a cada conglomerado:

Conglomerado I Bajo	Pureza (%):88,33 – 94,44 (6 registros)
Conglomerado II Alto	Pureza (%):97,03 – 99,42 (26 registros)
Conglomerado III Mediano	Pureza (%):92,20 – 95,88 (4 registros)



**Cuadro 21. Registros del Análisis del Conglomerado de la Variable Porcentaje de Pureza correspondiente a cada tratamiento**

<b>Niveles de Bisulfito de sodio (%)</b>	<b>Niveles de NaOH (%)</b>	<b>Niveles de Alcohol Etilico (%)</b>	<b>Registros</b>	<b>Conglomerado</b>	<b>Registros</b>	<b>Conglomerado</b>
<b>a1 (0,00)</b>	<b>b1 (0,00)</b>	<b>c1 (00,00)</b>	88,33		88,47	
		<b>c2 (90,00)</b>	94,44		93,26	
	<b>b2 (0,15)</b>	<b>c1 (00,00)</b>	97,74		97,67	
		<b>c2 (90,00)</b>	98,14		97,92	
	<b>b3 (0,30)</b>	<b>c1 (00,00)</b>	98,87		98,85	
		<b>c2 (90,00)</b>	98,93		98,85	
<b>a2 (0,20)</b>	<b>b1 (0,00)</b>	<b>c1 (00,00)</b>	90,78		89,48	
		<b>c2 (90,00)</b>	95,88		95,82	
	<b>b2 (0,15)</b>	<b>c1 (00,00)</b>	98,07		98,47	
		<b>c2 (90,00)</b>	98,58		98,57	
	<b>b3 (0,30)</b>	<b>c1 (00,00)</b>	99,05		99,04	
		<b>c2 (90,00)</b>	99,01		99,42	
<b>a3 (0,30)</b>	<b>b1 (0,00)</b>	<b>c1 (00,00)</b>	92,20		92,24	
		<b>c2 (90,00)</b>	97,41		97,03	
	<b>B2 (0,15)</b>	<b>c1 (00,00)</b>	99,09		98,73	
		<b>c2 (90,00)</b>	99,32		99,33	
	<b>B3 (0,30)</b>	<b>c1 (00,00)</b>	98,70		98,70	
		<b>c2 (90,00)</b>	99,34		99,26	

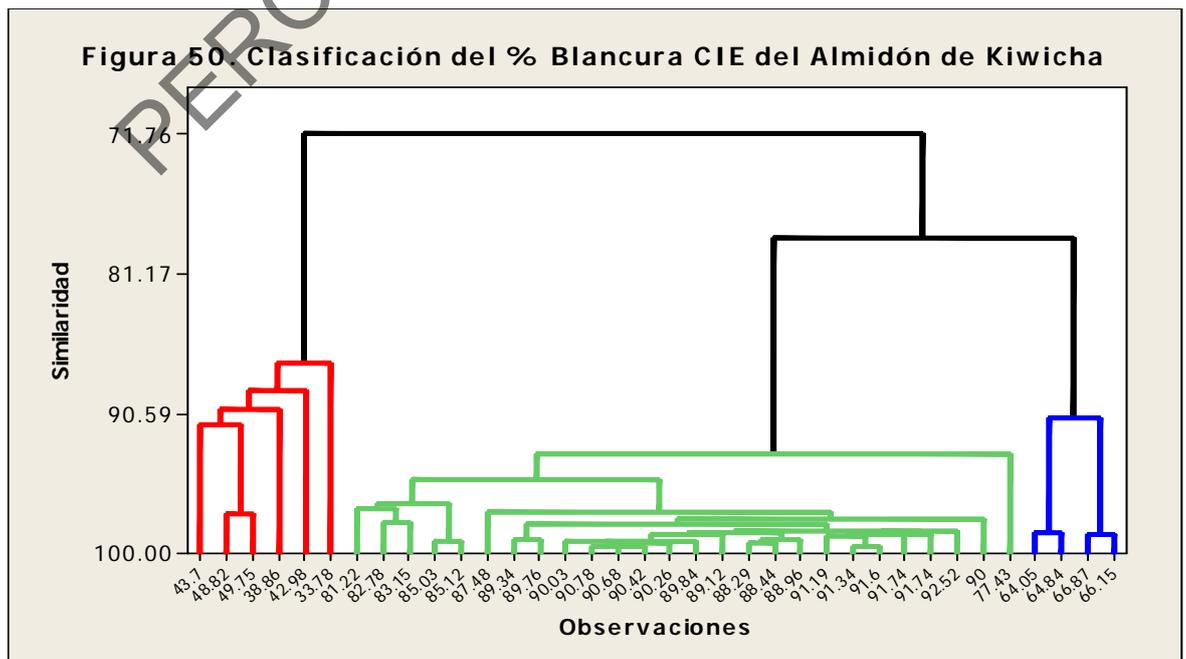
### 4.8.3 Determinación del Conglomerado para los Registros de la Variable Índice de Blancura en la escala CIE (expresado en porcentaje)

En la Figura 50 se observa la clasificación de los registros de la variable Índice de blancura en la escala CIE; estableciéndose tres conglomerados. El primer conglomerado esta conformado por seis registros de similar características (menor Índice de blancura en la escala CIE); el segundo conglomerado agrupo veintiséis observaciones (mayor Índice de blancura en la escala CIE), y el tercer conglomerado agrupa cuatro observaciones de similares características. En el Cuadro 22, por edición exponemos los rangos Índice de blancura correspondiente a cada conglomerado:

Conglomerado I Bajo índice de Blancura en la escala CIE (%): 33,78 - 49,75 (6 registros)

Conglomerado II Alto índice de Blancura en la escala CIE (%): 77,43 – 92,52 (26 registros)

Conglomerado III Mediano índice de Blancura CIE (%): 64,05 - 66,87 (4 registros)



**Cuadro 22. Registros del Análisis de Conglomerado de la Variable Índice de Blancura en la escala CIE correspondiente a cada tratamiento**

Niveles de Bisulfito de sodio (%)	Niveles de NaOH (%)	Niveles de Alcohol Etilíco (%)	Registros	Conglomerado	Registros	Conglomerado
a1 (0,00)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	43,70	I	48,82	I
		c2 (90,00)	33,78	I	42,98	I
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	81,22	II	87,48	II
		c2 (90,00)	89,34	II	89,76	II
	b3 (0,30)	c1 (00,00)	90,03	II	90,78	II
		c2 (90,00)	85,03	II	88,29	II
a2 (0,20)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	38,86	I	49,75	I
		c2 (90,00)	64,05	III	64,84	III
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	91,19	II	82,78	II
		c2 (90,00)	91,34	II	91,60	II
	b3 (0,30)	c1 (00,00)	90,42	II	90,68	II
		c2 (90,00)	92,52	II	83,15	II
a3 (0,30)	b1 (0,00)	c1 (00,00)	66,87	III	66,15	III
		c2 (90,00)	77,43	II	90,00	II
	b2 (0,15)	c1 (00,00)	85,12	II	91,74	II
		c2 (90,00)	91,74	II	90,26	II
	b3 (0,30)	c1 (00,00)	88,96	II	88,44	II
		c2 (90,00)	89,12	II	89,84	II

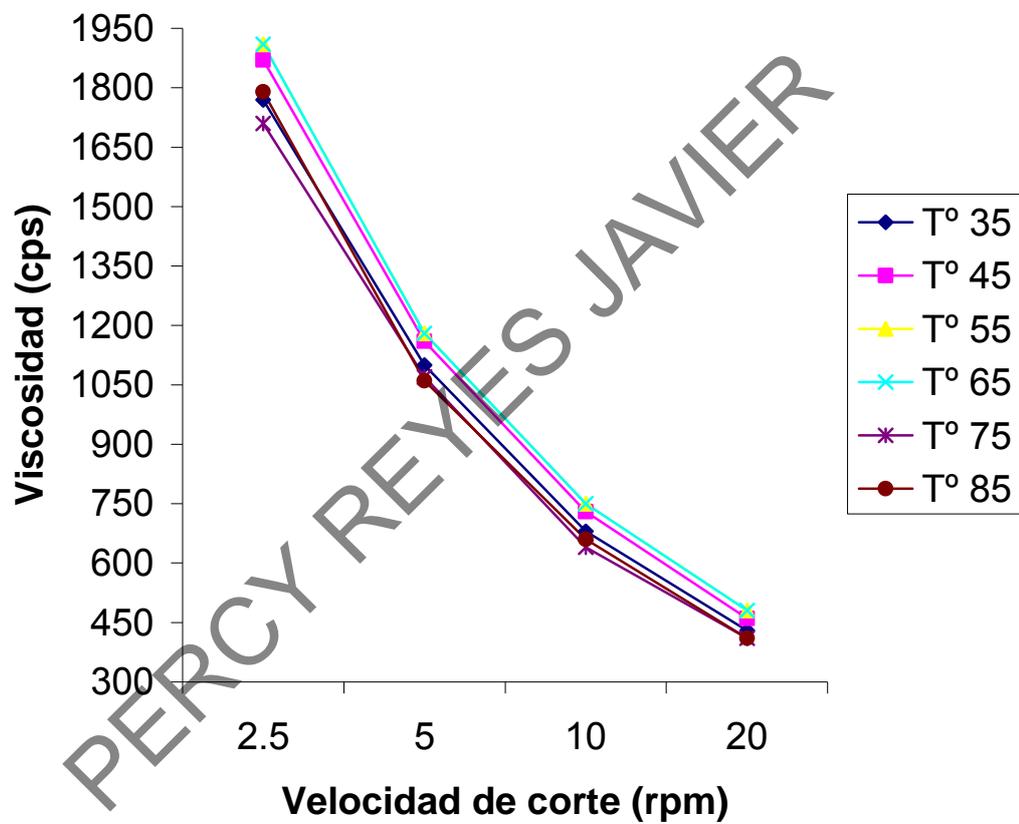
#### 4.9 Análisis físicos de la Pasta

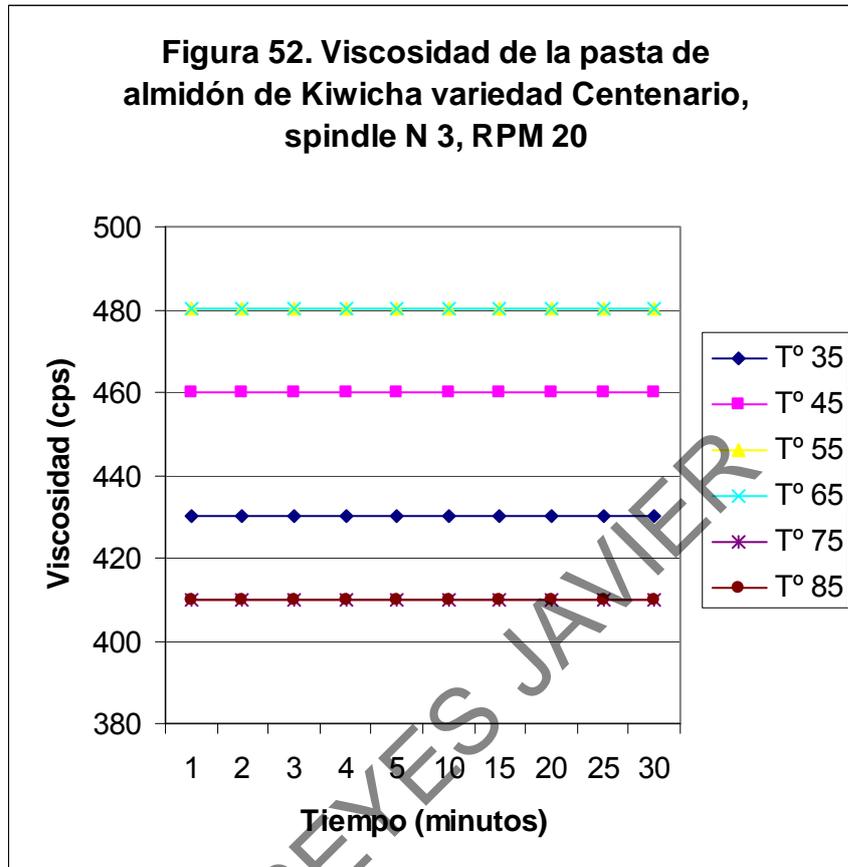
El análisis físico de la pasta se realizó con el almidón aislado de más alta pureza (99,33%), resultante del empleando soluciones de bisulfito de sodio 0,30%; hidróxido de sodio 0,15% y alcohol etílico de 90%.

##### 4.9.1 Determinación de la Viscosidad Aparente de la Pasta de Almidón de Kiwicha variedad Centenario

La viscosidad aparente de la pasta de almidón de kiwicha variedad Centenario, decrece cuando la velocidad de corte se incrementa de 2,5 hacia 5, 10 y 20 rpm (Figura 51). Este típico decrecimiento de la viscosidad aparente con un incremento en la velocidad de corte indica un comportamiento pseudoplástico (Bello – Pérez *et al.*, 1998). Asimismo Rosental (2001) cita este comportamiento pseudoplástico en la leche concentrada, soluciones concentradas de macromoléculas, tales como xantano y goma guar; y diversos zumos de frutas. La viscosidad aparente más alta fue observada entre los 55 – 65 °C, sin embargo se observó una estabilidad durante el intervalo de evaluación de 30 minutos (Figura 51).

**Figura 51. Efecto de la velocidad de corte en la determinación de la viscosidad de la pasta de almidón de Kiwicha variedad Centenario, durante 30 minutos**





En la Figura 52, se observa el comportamiento de la viscosidad aparente de la pasta de almidón de kiwicha variedad Centenario a velocidad de corte constante (20 rpm); las curvas correspondientes a la temperatura de 55 y 65°C se superponen para un valor de viscosidad aparente de 480cps (mayor registro); un incremento de temperatura (hasta llegar a 75°C) produce una caída en la viscosidad (410cps). Estos registros de viscosidad aparente se superponen a los observados a 75°C con un incremento de 10°C (hasta llegar 85°C); en todas las evaluaciones se aprecia que la viscosidad aparente es independiente del tiempo (30 minutos) para una temperatura. Por lo que se afirma que la pasta de almidón de kiwicha de la variedad Centenario es estable con el tiempo, similar comportamiento de estabilidad con el tiempo fue registrado para las pastas elaboradas con almidón de banana extraídos con una solución alcalino – alcohólica. Asimismo este comportamiento descrito en ambas Figuras (51 y 52) puede ser explicado

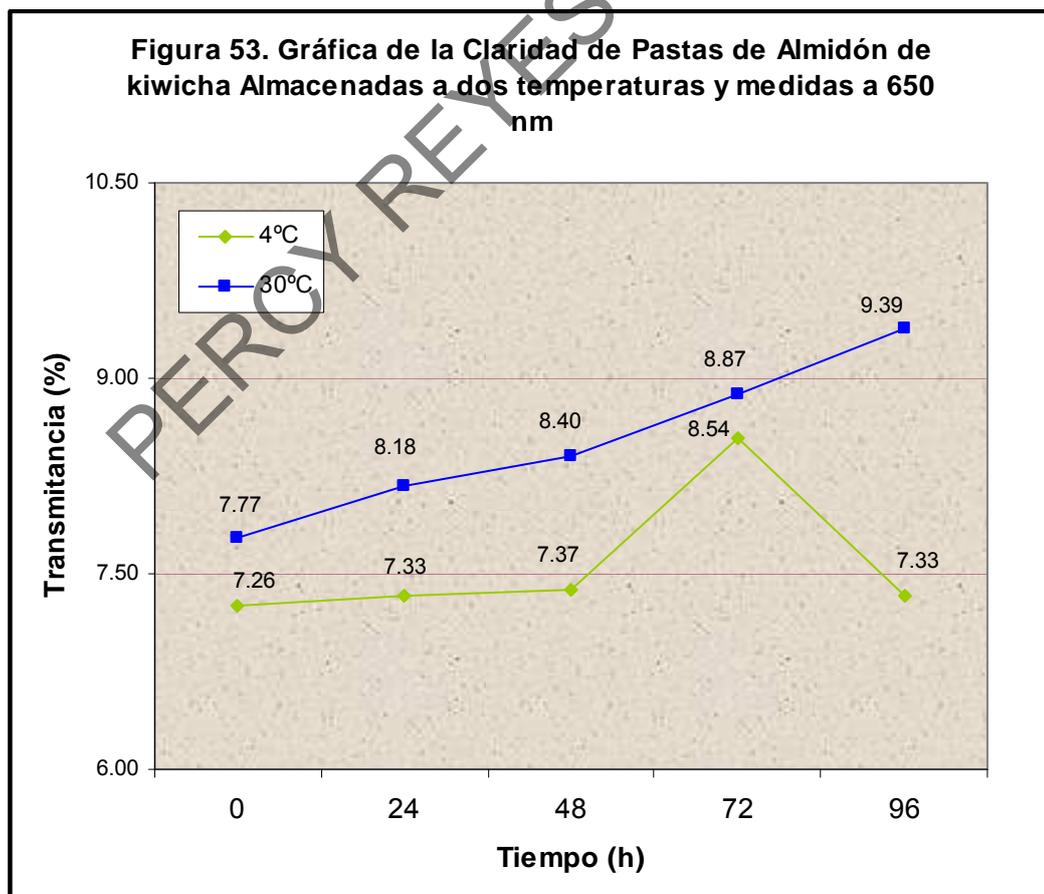
por la investigación de (Willhelm *et al.*, 1998) quienes citan un incremento de los registros de viscosidad aparente de las pastas de almidón de *Amaranthus caudatus* (extraídas con soluciones alcalinas), este incremento es observado conforme se incrementa la temperatura hasta llegar a los 60°C, durante los primeros 5 minutos de evaluación.

#### **4.9.2 Determinación de la Estabilidad y Claridad de la Pasta de Almidón**

Las diferencias entre las muestras almacenadas a 4° C y 30° C fueron mínimas al inicio del experimento (Figura 53), no se observó una caída brusca durante las primeras horas. El comportamiento de las muestras almacenadas a 4° C mostro una estabilidad hasta las 48 horas, luego registro un incremento a las 72 horas para retornar a apartir de las 96 horas a los registros de trasmittancia observados durante las primeras 48 horas. Asimismo durante todo el periodo de evaluación la transmitancia registró valores bajos, los cuales pueden ser consecuencia de la retrogradación. Estos registros de transmitancia se explican por lo afirmado por (Miles *et al.*, 1985 citado por Sánchez – Hernández *et al.*, 2002) quienes encontraron evidencia que la retrogradación consiste en dos procesos separados: gelatinización de las moléculas de amilosa exudadas provenientes de los granulos de almidón durante la gelatinización, y la recristalización del polimero de amilopectina. El almacenamiento a 30°C forma mayor números de cristales en comparación a lo observado durant el almacenimiento a 4°C, sustentandose en una mayor trasmittancia a 30°C; la disminución de la trasmittancia en el almacenamiento a 4°C luego de haber experimentado una tendencia hacia el incremento en la trasmittancia a las 72 horas, es explicado como consecuencia de la agregación de las cadenas de amilosa. Sin embargo a partir de las 96 horas se observa estabilidad. La tendencia a registrar menor porcentaje de transmitancia en los almacenamientos a 4°C fue documentada por (Bello – Pérez *et al.*, 2000) quienes encontraron que

las bajas temperaturas incrementan la retrogradación, como consecuencia de la disminución de la transmitancia de las pastas almacenadas a 4°C durante 24 horas. Además Bello – Pérez *et al.* (1998) citan el efecto de la adición de ácidos grasos en las pastas de diferentes almidones (incluso para almidones cereos del género *Amaranthus*), registrándose una mayor claridad cuando se adiciona ácido estearico y / o palmítico y una menor claridad (baja %T) cuando se adiciona ácido oleico.

Bello – Pérez *et al.* (2000) investigaron la estabilidad de almidones provenientes de dos variedades (Macho y Criollo) de banano, observando una retrogradación inicial (disminución de transmitancia), luego se estabiliza durante las 50 horas de almacenamiento.

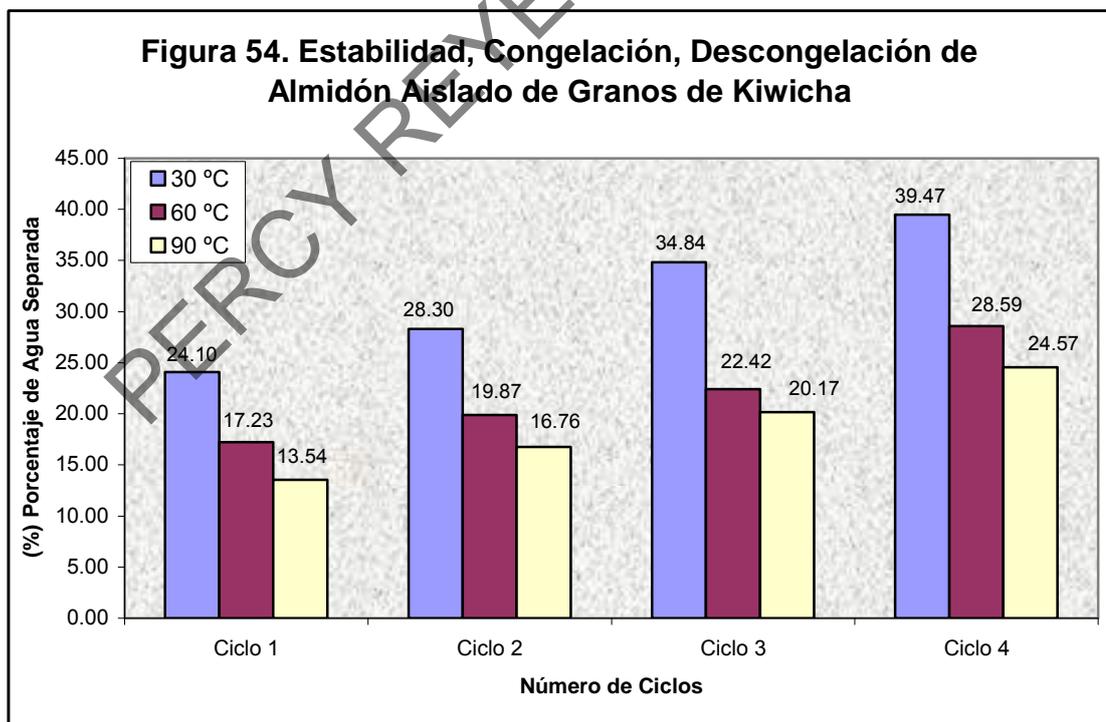


#### **4.9.3 Determinación de la Estabilidad durante los Ciclos de Congelación y Descongelación de la Pasta elaborada con Almidón Aislado de Granos de Kiwicha**

Durante los cuatro ciclos de congelación y descongelación se evidenció que el mayor porcentaje de agua exudada (separada) de la pasta fue inversamente proporcional a la temperatura alcanzada al término de la descongelación. Por lo que se observó mayor agua exudada ( $30^{\circ}\text{C} > 60^{\circ}\text{C} > 90^{\circ}\text{C}$ ) esto se aprecia en la Figura 54. Estos resultados son congruentes con lo reportado por (Varavinit *et al.*, 2002) quienes encontraron que la estabilidad del ciclo de congelación - descongelación se mejora con descongelación a altas temperaturas ( $90^{\circ}\text{C}$ ). Asimismo se observó para todas las temperaturas, incrementos en el número de ciclos de congelación y descongelación produce un mayor porcentaje de agua exudada luego de la centrifugación, esto se puede explicar debido a que durante la congelación lenta se produce daño físico en la pasta de almidón, por esta razón se empleo tubos de centrifuga de 30mm de diámetro para facilitar la congelación. Sin embargo esta tendencia de incremento del agua exuda con el número de ciclos, fue reportada por (Abera y Rakshit, 2004) quienes trabajaron con almidones de yuca fresca y procesada, los cuales fueron almacenados durante 8 meses, registrando una menor sinéresis en el almidón proveniente de yuca fresca versus almidón proveniente de hojuelas de yuca seca, debido a la retrogradación producida en la yuca procesada.

Esta prueba de congelación y descongelación no debe tomarse como referencia para establecer comparaciones puntuales de datos provenientes de otros experimentos, debido a que se requiere trabajar con equipos similares, sin embargo estos resultados nos permiten sugerir que el almidón aislado de granos de kiwicha es estable y puede ser empleado en la elaboración de alimentos que seran congelados y descongelados para trabajarlos como cubiertas (tipo salsas) de platos calientes y en la elaboración de embutidos escaldados tipo hot dog. Similar conclusión fue

expuesta registrada por (Yanez *et al.*, 1986) quienes citan que el almidón de *Amaranthus hypochondriacus* tiene buena estabilidad, debido a la baja sinéresis durante los cuatro ciclos de congelación. Este comportamiento también es característico del almidón cereo de sorgo (Schoch, 1968 citado por Yanez *et al.*, 1986). Hoover *et al.* (1998) estudiaron el comportamiento de las pastas de almidón provenientes de tres cultivares de *Amaranthus cruentus* (Mexicana, Africana y A200D) encontrando ausencia de sinéresis durante los primeros tres ciclos congelación – descongelación (descongelación llevada 25°C), únicamente se presentó sinéresis en el cuarto ciclo para el cultivar A200D ( $4,0 \pm 1,0$  %), siendo esta diferencia atribuida al contenido de amilosa presente en los geles. Las concentraciones de amilosa para los cultivares Mexicana, Africana y A200D fueron  $3,9 \pm 0,2\%$ ;  $4,5 \pm 0,2\%$  y  $5,7 \pm 0,2\%$  respectivamente.

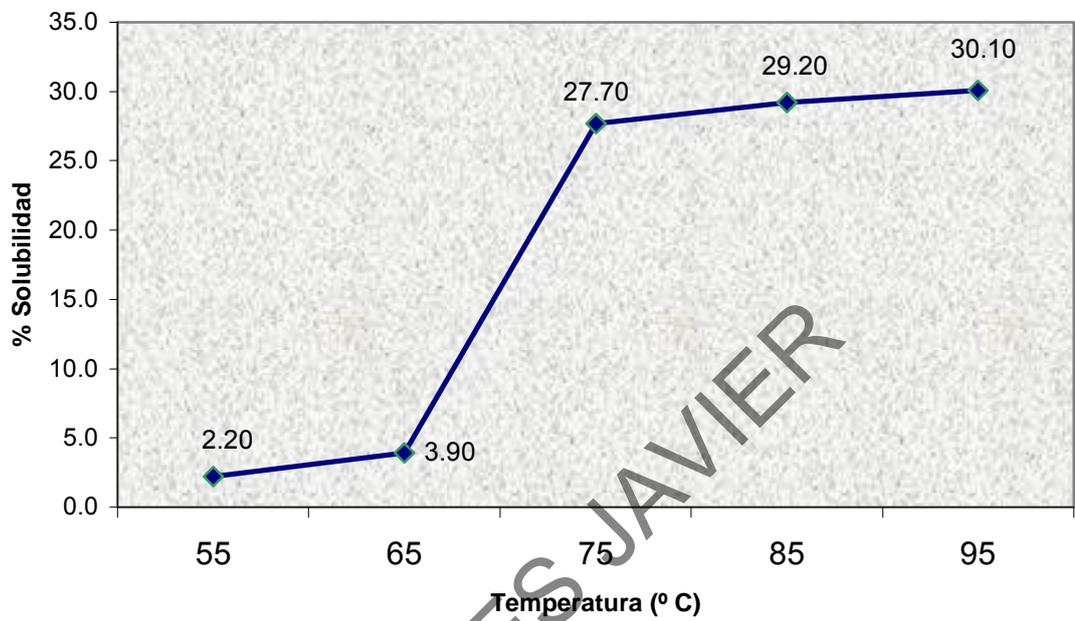


#### **4.9.4 Determinación del Índice de Solubilidad y del Poder de Hinchamiento de la Pasta Elaborada con Almidón Aislado de Granos de Kiwicha.**

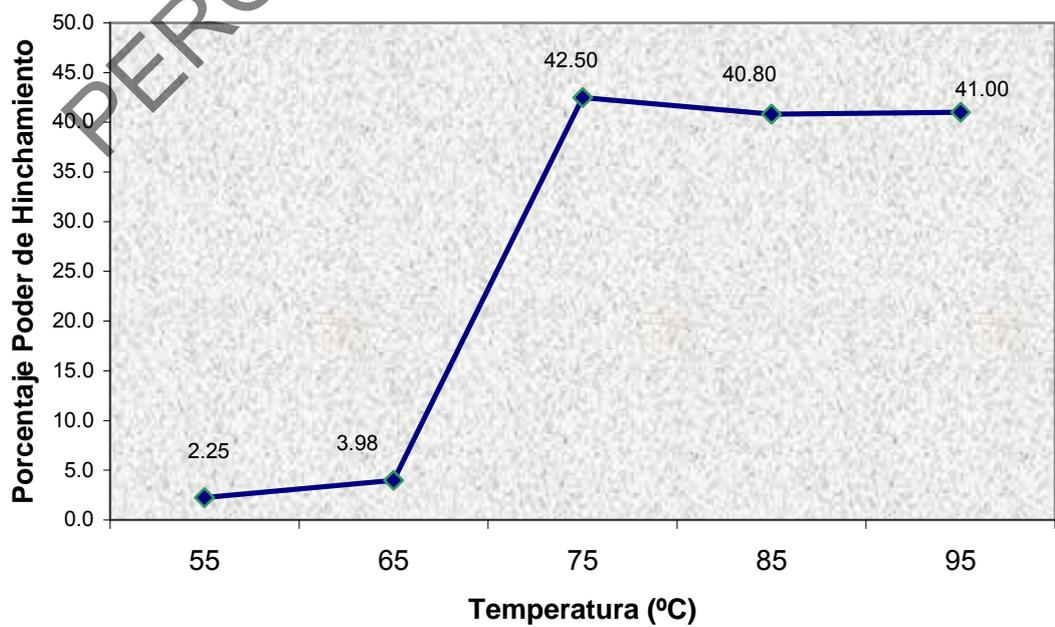
En la Figura 55, se observa que el Índice de solubilidad se incrementa lentamente entre 55 – 65°C y fuertemente entre 65 – 75°C y finalizando la evaluación con un incremento lento entre 75 -95°C. El poder de hinchamiento presenta una tendencia similar respecto al incremento producido entre 65 – 75°C, luego se estabiliza entre 75 – 95°C (Figura 56). Por lo que se afirma que ambas curvas muestran una tendencia similar, esta afirmación se sustenta en lo expuesto por (Sánchez – Hernández *et al.*, 2002) quienes estudiaron el comportamiento de ambos índices (Solubilidad y Poder de hinchamiento) para pastas elaboradas con almidón de Okenia, ambos registros mostraron similiar tendencia para ambos índices tendencia similar. Asimismo la investigación de (Li y Yeh, 2001) refieren que el índice de Poder de Hinchamiento se incrementa con la temperatura y su comportamiento referido a la proporción de amilosa / amilopectina presente en el almidón registro para almidones de maíz cereo y almidón de papa (alto) y para los almidones de maíz ricos en amilosa (bajo).

Choi *et al.* (2004) citan que el grado de hinchamiento y solubilidad está influenciado por el tipo de cristalinidad y forma del almidón usado, describieron para el género *Amaranthus* un mayor índice de solubilidad entre 65 – 75°C al ser comparada con los registros de solubilidad de pasta de almidones de sorgo cereo; de igual forma se tuvo similares resultados para el índice de poder de hinchamiento.

**Figura 55. Índice de Solubilidad de la Pasta de Almidón Aislado de Kiwicha**



**Figura 56. Gráfica del Índice de Poder de hinchamiento del Almidón Aislado de Kiwicha**



## V. CONCLUSIONES

Las siguientes deducciones fueron hechas a partir de los resultados y discusiones seguidas en la presente investigación.

1. Los granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) de la variedad Centenario, no presentan diferencias ostensible si se comparan los resultados de las características fisicoquímicas evaluadas (proteína cruda, extracto etéreo, ceniza, fibra cruda, almidón, amilosa, azúcares reductores, tamaño de grano) con los registros de otras variedades, accesiones u otras especies tales como *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus hypochondriacus*.
2. El efecto de las soluciones empleadas durante el proceso de aislado de almidón respecto a las variables rendimiento, almidón recuperado, pureza e índices de blancura en las escalas Hunter y CIE fueron:
  - Mayor rendimiento (56,97%); logrado con 0,20% de bisulfito de sodio; 0,0% de NaOH y 90,0% de alcohol etílico.
  - Mayor almidón recuperado (92,69%); al trabajar con 0,20% de bisulfito de sodio, 0,0% de NaOH y 90,0% de alcohol etílico.
  - Mayor pureza (99,33%); obtenido con 0,30% de bisulfito de sodio; 0,15% de NaOH y 90,0% de alcohol etílico.
  - Mayor Índice de Blancura en las escalas Hunter y CIE, logrado con 0,20% de bisulfito de sodio; 0,15% de NaOH y 90% de alcohol etílico.
3. El efecto de las soluciones empleadas durante el proceso de aislado de almidón respecto a las concentraciones residuales (proteína cruda, extracto etéreo, ceniza, fibra cruda, almidón, amilosa y azúcares

reductores) presentes en las muestras de almidón de cada tratamiento fueron:

- Todos los tratamientos produjeron almidones con bajo contenido de proteína cruda residual (0,10 a 0,65%), el menor contenido se registró al trabajar con 0,30% de bisulfito de sodio; 0,25% de NaOH y 90% de alcohol etílico.
  - Los tratamientos donde se emplearon NaOH al 0,25% y alcohol etílico al 90% registró los menores contenidos de extracto etéreo residual.
  - El empleo de concentraciones de 0,25% NaOH posibilitó no tener presencia de fibra cruda.
  - Los contenidos de ceniza residual variaron entre 0,11 – 0,72%, no tuvo efecto la utilización de alcohol etílico respecto al contenido de ceniza residual.
  - La concentración de amilosa no registró influencia de las soluciones empleadas durante el aislamiento del almidón.
  - Ninguno de los tratamientos produjo almidones con contenido de azúcares reductores residual expresado como glucosa.
4. El efecto producido en las variables pureza e Índice blancura porcentual expresado en las escalas Hunter y CIE, debido a las concentraciones residuales (proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza total) presentes en el almidón aislado se muestra a continuación:
- Las concentraciones residuales de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza total presentes en el almidón aislado explican el porcentaje de pureza del mismo.
  - Existe una relación directa entre el porcentaje de pureza del almidón aislado y los índices de blancura expresados en las escalas Hunter y CIE.

- Las concentraciones residuales de proteína cruda y grasa presentes en el almidón aislado explican los índices de blancura expresados en las escalas Hunter y CIE.
5. Los resultados de la presente investigación han demostrado la posibilidad de producir almidones aislados provenientes de granos de kiwicha de la variedad Centenario con alto contenido de pureza e índices de blancura, con fines de comparación industrial se tienen tres niveles propuestos, los cuales comprenden los siguientes registros:
- Porcentaje de Pureza de almidón de Kiwicha.  
Bajo: 88,33 – 94,44%.  
Mediano: 92,20– 95,88%  
Alto: 97,03 – 99,42%.
  - Índice de Blancura en la escala Hunter:  
Bajo índice de Blancura Hunter (%): 62,96 – 70,95%.  
Mediano índice de Blancura Hunter (%): 79,33 – 80,64%  
Alto índice de Blancura Hunter (%): 86,91 – 95,86%.
  - Índice de Blancura CIE (%) correspondiente a cada conglomerado:  
Bajo índice de Blancura CIE (%): 88,33 – 94,44%.  
Mediano índice de Blancura CIE (%): 92,20– 95,88%  
Alto índice de Blancura CIE (%): 97,03 – 99,42%.
6. Los análisis físicos de la pasta de almidón de mayor porcentaje de pureza, permitió evidenciar una gran estabilidad de la pasta de almidón proveniente de granos de kiwicha de la variedad Centenario; lo cual le confiere aplicabilidad en industrias de alimentos y no alimenticias.

## VI. RECOMENDACIONES

- Investigar con el almidón aislado de mayor pureza sustituciones de grasa en embutidos escaldados y yogurt.
- Investigar la aplicabilidad del almidón aislado de granos de kiwicha en la elaboración de plásticos biodegradables.
- Investigar la aplicabilidad del almidón aislado de kiwicha en la elaboración de pegamento.
- Mejorar el presente proceso de aislado de almidón, trabajando únicamente con soluciones de 0,25 % a 0,35% de NaOH, pero buscando minimizar el consumo de agua y su tratamiento para disminuir el impacto en el medio ambiente.

PERCY REYES JAVIER

## VII. BIBLIOGRAFIA

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). 1994. Approved methods of the association of cereal chemists (9<sup>th</sup> ed.). St. Paul, MN, USA: The Association.

ABERA, S. RASKSHIT, S. 2004. Effect of dry cassava chip storage on yield and functional properties of extracted starch. *Starch / Stärke*. 56. 232-240.

AGUILERA, J. M. 2000. Microstructure and food product engineering. *Food Technology*. 54. 56-58, 60, 62, 64-65

ALMANZA, E. Y HUALPA, L. 1984. Contenido de humedad, ceniza, fibra, grasa y almidón de noventa y siete líneas de la colección de *Amaranthus Cusco*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco. K'ayra Cusco Perú.

ARELLANO, M.; SCOGNAMILLO, G.; LÚQUEZ, N. Y LÚQUEZ DE MUCCIARELLI, S. 1992. *Amaranthus mantegazzianus*. Composición química y valor biológico de la proteína. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol 42. N 1. 41-45.

ATWELL, W.; PATRICK, B.; JOHNSON, L. AND GLASS, R. 1983. Characterization of quinoa starch. *Cereal Chem*. 60. N 1. 9 – 11.

BADUI, S. 1996. *Química de los alimentos*. Tercera edición. Editorial Alhambra Mexicana. 648p.

BALDWIN, P. M. 2001. Starch granule-associated proteins and polypeptides: a review. *Starch / Stärke*. 53. 475-503.

BARI, M.; DERIU, A.; ALBANESE, G. AND CAVATORTA, F. 2003. Dynamics of hydrated starch saccharides. *Chemical physics*. 292. 333-339.

BECKER, R.; WHEELER, E.; LORENZ, K.; STAFFORD, A.; GROSJEAN, O.; BESTCHART, A. AND SAUDERS, R. 1981. A compositional study of amaranth grain. *Journal of Food Science*. Volume 46. 1175 -1180.

BELLO – PEREZ, L.; AGAMA – ACEVEDO, E.; SÁYAGO – AYERDI, S. AND MORENO – DAMIAN, E. 2000. Some structural, physicochemical and functional studies of banana starches isolated from two varieties growing in Guerrero, México. *Starch / Stärke*. 52. N 2-3. 68 – 73.

BELLO – PEREZ, L.; ORTÍZ – MALDONADO, F.; VILLAGÓMEZ – MENDEZ, J. AND TORO – VAZQUEZ, J. 1998. Effect of fatty acids on clarity of starch pastes. *Starch / Stärke*. 50. N 9. 383 - 386.

BELLO – PEREZ, L.; PANO, Y.; AGAMA – ACEVEDO, E. AND PAREDES – LÓPEZ, O. 1998. Isolation and partial characterization of amaranth and banana starches. *Starch / Stärke*. 50. N 10. 409 – 413

BELLO – PEREZ, L.; ROMERO – MANILLA, R. AND PAREDES – LOPEZ, O. 2000. Preparation and properties of physically modified banana starch prepared by alcoholic – alkaline treatment. *Starch / Stärke*. 52. N 5. 154 – 159.

BERGANZA, B.; MORAN, A.; RODRIGUEZ, G.; COTO, N.; SANTA MARÍA, M. AND BRESSANI, R. 2003. Effect of variety and localization on the total fat, fatty acids and squalene content of amaranth. *Plant Foods for Human Nutrition*. 58.1- 6.

BETANCUR – ANCONA, D.; CHEL, L.; CAMELO, R. AND DÁVILA, G. 2001. Physicochemical and functional characterization of Baby Lima bean (*Phaseolus lunatus*) starch. *Starch / Stärke*. 53. 219 – 226.

BETANCUR – ANCONA, D.; GALLEGOS – TINTORÉ, S. AND CHEL - GUERRERO, L. 2004. Wet – fractionation of *Phaseolus lunatus* seeds: partial characterization of starch and protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84. 1193 -1201.

BETSCHART, A.; IRVING, D.; SHEPHERD, A. AND SAUNDERS, R. 1981. *Amaranthus cruentus*: Milling characteristics, distribution of nutrients within seed components, and the effects of temperature on nutritional quality. *Journal of Food Science*. Volume 46. 1181-1187.

BILIADERIS, C.; MAURICE, T. AND VOSE, J. 1980. Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science*. 45. 1669-1674.

BLENNOW, A.; HANSEN, M.; SCHULZ, A.; JØRGENSEN, K.; DONALD, A. AND SANDERSON, J. 2003. The molecular deposition of transgenically modified starch in the starch granule as imaged by functional microscopy. *Journal Structural Biology*. 143. 229-241.

BRESSANI, R. 1991. El tamaño del grano del amaranto, una desventaja significativa en la producción agrícola comercial. *El Amaranto y su potencial*. Junio-diciembre. 1.

BRESSANI, R. 1994. Composition and nutritional properties of amaranth. *Amaranth, Biology, Chemistry and Technology*. Edited by OCTAVIO PAREDES – LÓPEZ. CRC Press. United State. 233p

BRESLER, G.; VAAMONDE, G.; DEGROSSI, C. Y FERNANDEZ-PINTO, V. 1998. Amaranth grain as substrate for aflatoxin and zeralenone production at different water activity levels. *International Journal of Food Microbiology*. 42 57-61

BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V. AND BALL, S. 1998. Mini review Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*. 23. 85-112.

CALVO, C. Y DURAN, L. 1997. Propiedades físicas II. Ópticas y color. *Temas en Tecnología de Alimentos*. Editado por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Instituto Politécnico Nacional. México. 337p.

CALZETTA, A.; AGUERRE, R. AND SUÁREZ, C. 2003. Study of some factors affecting water absorption by amaranth grain during soaking. *Journal of Food Engineering*. 60. 391-396.

CALZETTA, A. AND SUAREZ, C. 2001. Gelatinization kinetics of amaranth starch. *International Journal of Food Science and Technology*. 36. 441-448

CASTRO, C. 1987. Procesamiento de la kiwicha (*Amaranthus caudatus*) por el método de expansión por explosión. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.

CAVERO, M. 1983. Análisis morfológico, bromatológico y digestibilidad in Vitro con pepsina en 45 líneas Amaranto (*Amaranthus sp.*). Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco. K'ayra Cusco Perú.

- CENZANO, E. J. 1996. Extracción y caracterización de los almidones de tres clones de achira (*Canna indica* L.). Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.
- CHANG, Y – H.; LIN, J – H. AND LII, C – Y. 2004. Effect of ethanol concentration on the physicochemical properties of waxy corn starch treated by hydrochloric acid. *Carbohydrate Polymers*. 57. 89 -96.
- CHIOU, H.; MARTIN, M. AND FITZGERALD, M. 2002. Effect of purification methods on rice starch structure. *Starch / Stärke*. 54. 415 -420.
- CHOI, H.; KIM, W. AND SHIN, M. 2004. Properties of Korean amaranth starch compared to waxy millet and waxy sorghum starches. *Starch / Stärke*. 56. 469-477.
- CHOQUEHUANCA, G. 1982. Evaluación de Algunas Características Morfológicas, Físicas y Químicas en Semillas de Noventa y siete Líneas de *Amaranthus* sp. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco. K'ayra Cusco Perú.
- CHRISTIE, R. 2003. La química del color. Editorial Acribia S.A. Zaragoza España. 211p.
- CLYDESDALE, F. 1969. The measurement of color. *Food Technology*. January. Vol. 23. 16 – 22.
- CRONQUIST, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. The New York Botanical Garden. Columbia University Press New York. I. 264-267.

DI PAOLA, R.; ASIS, R. AND ALDA, M. 2003. Evaluation of the degree of starch gelatinization by a new enzymatic method. *Starch / Stärke* 55. 403-409

FRAU, M.; CAÑELLAS, B; Sánchez, E. y Rosello, C. 2000. El color como parámetro de la calidad. *Alimentación Equipos y Tecnología*. Julio – Agosto. 99-102.

FRENCH D. 1984. Organization of starch granules. In *Starch: Chemistry and Technology*, edited WHISTLER, R.; BEMILLER, J. AND PASCHALL, E. Second edition. Academic Press. Orlando Florida U.S. A.

GALLANT, D.; BOUCHET, B. AND BALDWIN, P. 1997. Microscopy of starch: Evidence of a new level of granule organization. *Carbohydrate Polymers*. 32. 177-191

GAMEL, T.; LINSSEN, J.; MESALLEM, A.; DAMIR, A. AND SHEKIB, L. 2004. Effect of seed treatments on the chemical composition and properties of two amaranth species: starch and protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. In press.

GARCÍA A. AND WALTER, W. 1998. Physicochemical characterization of starch from Peruvian sweet potato selections. *Starch / Stärke*. 50. N 8. 331 – 337.

GOOD, H. 2004. Measure to ensure the color stays right. *Food Quality*. Feb/Mar.

GÓMEZ, E. 1978. Análisis bromatológico comparativo de semillas de quihuicha (*Amaranthus caudatus* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* L. var. Sajama). Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco. K'ayra Cusco Perú.

HENDERSON, S. AND PERRY, R. 1976. Agricultural process engineering. The AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut. USA.

HERNÁNDEZ – LAUZARDO, A.; MÉNDEZ – MONTEALVO, G.; VELÁZQUEZ DEL VALLE, M.; SOLORZA – FERIA, J. AND BELLO - PÉRZ, L. 2004. Isolation and partial characterization of mexican oxalis tuberosa starch. *Starch / Stärke* 56. 357 – 383.

HOOVER, R.; SINNOTT, W. AND PERERA, C. 1998. Physicochemical characterization of starches from *Amaranthus cruentus* grains. *Starch / Stärke* 50. N 11-12. 456 – 463.

HURTADO, J. 1997. Valorización de las amiláceas “no – cereales” cultivadas en los países andinos: Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de sus almidones y de la resistencia a diferentes tratamientos estresantes. Fundación Universidad de Bogotá. Facultad de ingeniería de alimentos. CIAT. Colombia. 164p.

IRVING D.; BETSCHART A. AND SAUNDERS R. 1981. Morphological Studies on *Amaranthus cruentus*. *Journal of Food Science*. 46. 1170-1174.

JANGCHUD, K.; PHIMOLSIRIPOL, Y. AND HARUTHAITHANASAN, V. 2003. Physicochemical properties of sweet potato flour and starch as affected by blanching and processing. *Starch / Stärke* 55. 258 – 264.

JIMÉNEZ, A. Y GUTIÉRREZ, G. 2001. Color. Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. Editores ALVARADO, J. Y AGUILERA, J. Editorial Acribia Zaragoza España. 409p-

JUSZCZAK, L.; FORTUNA, T. AND KROK, F. 2003. Non-contact atomic force microscopy of starch granules surface. Part I. Potato and tapioca starches. *Starch / Stärke* 55. 1-7

JUSZCZAK, L.; FORTUNA, T. AND KROK, F. 2003 (a). Non-contact atomic force microscopy of starch granules surface. Part II. Selected cereal starches. *Starch / Stärke* 55. 8 -18

KARIM, A.; NORZIAH, M. AND SEOW, C. 2000. Methods for study of starch retrogradation. *Food Chemistry*. 71. 9-36.

KEETELS, C.; OOSTERGETEL, G. AND VAN VLIET, T. 1996. Recrystallization of amylopectin in concentrated starch gels. *Carbohydrate Polymers*. 30. 61-64.

KRAMER, A. 1976. Use de la medida del color en el control de calidad de alimentos. *Food Technology*. October. 62 – 71.

LEÓN – CAMACHO, M.; GARCIA – GONZÁLES, D. AND APARICIO, R. 2001. *Eur Food Res Technology*. 213. 349-355.

LI, J. – Y. AND YEH, A. – I. 2001. Relations between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. *Journal of Food Engineering*. 50. 141 – 148.

LIM, S. – T.; LEE, J. – H.; SHIN, D. - H. AND LIM, H. 1999. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. *Starch / Stärke* 51. N 4. 120-125.

LINDEBOOM, N.; CHANG, P. AND TYLER, R. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch / Stärke*. 56. 89-99

LINDEN, G. Y LORIENT, D. 1996. Bioquímica agroindustrial. Revalorización alimentaria de la producción agrícola. Editorial Acribia S. A. Zaragoza. España.428p.

LITTLE, A. 1976. Physical measurements as predictors of visual appearance. Food Technology. October. 74-77, 82.

LIU, Q.; CHARLET, G.; YELLE, S. AND ARUL, J. 2002. Phase transition in potato starch-water system I. Starch gelatinization at high moisture level. Food Research International. 35. 397-407

LIZARRAGA, L. 1981. Evaluación del contenido de proteínas y fibra en semillas de sesenta y cuatro muestras de la Colección Kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco. K'ayra Cusco Perú.

LÓPEZ, M.; BELLO – PEREZ, L. AND PAREDES - LÓPEZ, O. 1994. Amaranth carbohydrates. Amaranth, Biology, Chemistry and Technology. Edited by OCTAVIO PAREDES – LÓPEZ. CRC Press. United State. 233p.

LUMDUBWONG, N. AND SEIB, P. 2000. Rice starch isolation by alkaline protease digestion of wet – milled rice flour. Journal of Cereal Science. 31. 63 -74.

MALINSKI, E.; DANIEL, J.; ZHANG, X. AND WHISTLER, R. 2003. Isolation of small starch granules and determination of their fat mimic characteristics. Cereal Chem. 80. 1-4.

MARCONE, M. 2001. Starch properties of *Amaranthus pumilus* (seabeach amaranth): a threatened plant species with potencial benefits for the breeding / amelioration of present *Amaranthus* cultivars. Food Chemistry. 73. 61-66.

MCGRANCE, S.; CORNELL, H. AND RIX, C. 1998. A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products. *Starch / Stärke*. 50. N 4. 158 – 163.

MOHENO – PÉREZ, J.; ALMEIDA – DOMÍNGUEZ, H. AND SERNA – SALDIVAR, S. 1999. Effect of fiber degrading enzymes on wet milling and starch properties. *Starch / Stärke*. 1. 16 – 20.

MOORTHY, S. 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: A review. *Starch / Stärke*. 54. 559 – 592.

MUA, J. AND JACKSON, D. 1998. Retrogradation and gel textural attributes of corn starch amylose and amylopectin fractions. *Journal of Cereal Science*. 27. 157-166.

MUNDIGLER, N. 1998. Isolation and determination of starch from amaranth (*Amaranthus cruentus*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Starch / Stärke*. N 2-3. 67-69.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1989. Lost Crops of the Incas. Little Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation. Second edition. National Academy Press. Washington. D. C. United States. 689p.

PAREDES – LÓPEZ, O.; BELLO – PÉREZ, A. AND LÓPEZ, M. 1994. Amylopectin: Structural, gelatinization and retrogradation studies. *Food Chemistry*. 50. 411-417.

PATERSON, L.; HILL, S.; MITCHELL, J. AND BLANSHARD, J. 1997. Sulphite and oxidative - reductive depolymerization reactions. *Food Chemistry*. Vol. 60. N 2. 143 – 147.

PEDRESCHI, R. 2002. Fermentación de los fructooligosacáridos del Yacón (*Smallanthus sonchifolia* Poepp & Ende.) por *L. acidophilus*, *L. brevis*, *L. gasseri*, *L. plantarum* y *B. bifidum*. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.

PÉREZ, E.; BAHNASSEY, Y. AND BREENE, W. 1993. A simple laboratory scale method for isolation of amaranth starch. *Starch / Stärke*. 45. N 6. 211-214.

PÉREZ, E. AND LARES, M. 2004. A laboratory scale method for isolation of starch from pigmented sorgum. *Journal of Food Engineering*. Article in Press.

PITA, J., Y MARTÍNEZ, J. 2001. Bancos de semillas. Conservación y caracterización de recursos filogenéticos. Editado por GONZÁLES – ANDRÉS, F. Y PITA, J. Publicaciones I. N. E. A. Valladolid. España. 279p.

QIAN, J. AND KUHN, M. 1999. Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* starch. *Starch / Stärke* 51. N 4. 116 – 120.

QUINDE, Z. 1995. Determinación de parámetros de malteo y su efecto en la composición química de la kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.

RASPER, V. 1971. Investigation of starches from major crops grown in Canada on particle size distribution. *J. Sci. Food Agriculture*. 22. 572-580.

RAYGADA, M. 2001. Caracterización del almidón de dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd): Kancolla y Chullpi. Tesis para optar el Grado de Magíster Scientiae. Escuela de Post – Grado. Especialidad de Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.

RIOS, M. 2001. Caracterización del banco de germoplasma de *Amaranthus* sp. De la Universidad Nacional Agraria La Molina. Tesis para optar el título de agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.

ROBIN, J.; MERCIER, C.; CHARBONNIÉRE, R. AND GUILBOT, A. 1974. Lintnerized starches. Gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. *Cereal Chemistry*. 51. 389-406.

ROSENTAL, A. 2001. Textura de los alimentos. Medida y percepción. Editorial Acribia. Zaragoza – España.

RUALES, J. AND NAÍR, B. 1992. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) an important Andean food crop. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 42. N 3. 232 – 240.

SÁNCHEZ – HERNÁNDEZ, L.; SOLORZA – FERA, J.; MÉNDEZ – MONTEALVO, G.; PAREDES – LÓPEZ, O. AND BELLO – PÉREZ, L. 2002. Isolation and partial characterization of okenia (*Okenia hypogaea*) starch. *Starch / Stärke*. 54. 211-214.

SCHNETZLER, A. AND BREENE, W. 1994. Food uses and amaranth product research: comprehensive review. *Amaranth, Biology, Chemistry and Technology*. Edited by OCTAVIO PAREDES – LÓPEZ. CRC Press. United State. 233p.

SEGURA, M.; BARBARA DE LA ROSA, A. P. Y PAREDES, O. 1994. Biochemistry of Amaranth Proteins. *Amaranth, Biology, Chemistry and Technology*. Edited by OCTAVIO PAREDES – LÓPEZ. CRC Press. Estados Unidos. 233p.

SERNA, S. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. Primera edición. Editorial Alhambra Mexicana S.A. México. 521p.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. AND GILL, B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. Food Chemistry. 81. 219-231.

SLATTERY, C.; KAVAKLI, I. AND OKITA, T. 2000. Engineering starch for increased quantity and quality. Trends in plant science. 5. 291-298.

SMITH, A.; DENYER, K. AND MARTIN, C. 1997. The synthesis of starch granule. Plant Physiology. Plant. Mol. Biol. 48. 67-87.

SRIROTH, K.; WANIAPATIT, S.; PIYACHOMKWAN, K. AND OATES, C. 1998. Improved cassava starch granule stability in the presence of sulphur dioxide. Starch / Stärke. 50. N 11-12. 211-214

STAR, A.; STEUERMAN, D.; HEATH, J. AND STODDART, J. 2002. Starched carbon nanotubes. Angew. Chem. Int. Ed. 41. 2508-2512.

SUMAR, L. 1993. La Kiwicha y su cultivo. Centro de Estudios Regionales Andinos "Bartolomé de Las Casas" – Cusco. 79p.

SUN, R. AND TOMKINSON, J. 2003. Fractional isolation and spectroscopic characterization of sago starch. International Journal of Polymer Anal. Charact. 8. 29 – 46.

TAKHTAJAN, A. 1980. Review Outline of the Classification of Flowering Plants (Magnoliophyta). The Botanical. 46. 225-359.

TARAZONA, G. 1995. Características físico – químicas y nutricionales de los almidones de seis clones de camote (*Ipomoea batatas* L). Tesis para

optar el Grado de Magíster Scientiae. Escuela de Post – Grado. Especialidad de Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.

TESTER, R. AND DEBON, S. 2000. Annealing of starch – a review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 27. 1-12.

TESTER, R.; KARKALAS, J. AND QI, X. 2004. Starch-composition, fine structure and architecture. *Journal Cereal Science*. Article in press.

TEUTONICO, R. AND KNORR, D. 1985. Amaranth: Composition, properties, and applications of a rediscovered food crop. *Food Technology*. April. 49-57.

VALENCIA, C. 1983. Evaluación de la razón amilosa - amilopectina en 103 entradas de la Colección *Amaranthus* Cusco. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco. K'ayra Cusco Perú.

VARAVINIT, S.; SHOBSNGOG, S.; VARANYANOND, W.; CHINACHOTI, P. AND NALVIKUI, O. 2002. Freezing and thawing conditions affect the gel stability of different varieties of rice flour. *Starch / Stärke*. 54. 31-36.

VILLAFUERTE – QUIROGA, C. 1984. Análisis del contenido de minerales (Ca, P, K, Mg, Fe) en veinticinco líneas de la colección *Amaranthus* Cusco comparado con cereales: trigo y quinua. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco. K'ayra Cusco Perú.

YANEZ, G.; MESSINGER, J.; WALKER, C. AND RUPNOW, J. 1986. *Amaranthus hypochondriacus*: Starch isolation and partial characterization. *Cereal Chemistry*. Vol 63. N 3. 273 – 276.

YÁNEZ, E.; ZACARÍAS, I.; GRANGER, D.; VÁSQUEZ, M. Y ESTÉVEZ, A. 1994. Caracterización química y nutricional del amaranto (*Amaranthus cruentus*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Vol 44. N 1. 57-62.

YU, X.; HOUTMAN, C. AND ATALLA, R. 1996. The complex of amylose and iodine. Carbohydrate Research. 292. 129-141.

VIZCARRA, M.; MARTÍNEZ, C. AND CABALLERO, F. 2003. Thermal and moisture diffusion properties of Amaranth seeds. Biosystems Engineering. Article in press.

WILHELM, E.; THERMEIER, H. AND LINDHAUER, M. 1998. Feinkornstärken und hydrophile polymere als komponenten für neue biologisch abbaubare zweiphasenwerkstoffe für spezielle anwendungen teil 1: separations – und aufbereitungstechniken für feinkornstärken von quinoa und amaranth. Starch / Stärke. 50. N 1. 7 – 13.

WILLIAMS, P.; EL – HARAMEIN, F.; NAKKOUL, H. AND RIHAWI, S. 1988. Crop quality evaluation methods and guidelines. Technical manual 14. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. Aleppo, Syria. 145p.

ZARUBICA, A.; MILJKOVIC, M.; PURENOVIC, M. AND TOMIC, V. 2005. Colour parameters, whiteness indices and physical features of making paints for horizontal signalization. Facta Universitatis. Series: Physics, Chemistry and Technology. Vol. 3. N 2. 205 – 216.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO A

#### ANÁLISIS GRANULOMETRICO PARA 65 ACCESIONES DE KIWICHA *Amaranthus caudatus* L.

El presente estudio de investigación se realizó en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### MATERÍA PRIMA

Accesiones de kiwicha (65) tomadas al azar de la Colección de *Amaranthus caudatus* L., perteneciente al Programa de Cereales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina. El Programa de Cereales tiene en su colección a agosto de 2004, 1609 Accesiones del genero *Amaranthus*, de las cuales 363 corresponden a la especie *Amaranthus caudatus* L.

#### EQUIPOS

Tamices de la serie Tyler 16, 18, 20 y 25, pertenecientes al Laboratorio de Mecánica de Suelos y el Programa de Cereales.  
Agitador eléctrico (Rotap).

#### METODOLOGÍA

La ejecución de la presente investigación se realizó de acuerdo pesando 100g de cada accesión, estos son vertidos en las mallas colocadas previamente en forma descendente en razón a su diámetro de poro, sobre el agitador eléctrico. Se agita durante 10 minutos al término de dicho período de tiempo se retira los granos retenidos en la malla de cada uno y se procede a pesar con una aproximación de al centésimo. Esta operación es realizada por triplicado obteniéndose un promedio de las tres lecturas de peso de granos retenidos para cada malla.

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El análisis estadístico fue realizado usando el programa estadístico MINITAB 14, con un nivel de significancia de  $p < 0,05$ . Se aplicó la prueba T - Student comparación de medias.

PERCY REYES JAVIER

## RESULTADOS

**Cuadro 1. Registros de pesos de granos de accesiones de *Amaranthus caudatus* L., retenidos en los tamices**

N°	TYLER CÓDIGO ACCESION	PESO DE GRANOS DE KIWICHA RETENIDOS EN LAS MALLAS					
		16 gr	18 gr	20 gr	25 gr	Base gr	PESO gr
1	13	0,85	25,15	57,13	15,06	1,82	100,00
2	25	11,04	58,35	19,53	10,73	0,35	100,00
3	30	0,21	11,79	47,04	35,56	5,39	100,00
4	39	8,12	60,26	24,71	6,61	0,30	100,00
5	48	0,54	18,18	53,99	25,33	1,96	100,00
6	60	8,62	65,22	21,25	4,56	0,35	100,00
7	69	27,79	47,57	18,15	6,15	0,34	100,00
8	70	12,03	61,73	22,50	3,20	0,53	100,00
9	71	26,83	50,83	16,18	5,83	0,34	100,00
10	72	10,93	57,22	24,09	7,13	0,63	100,00
11	90	12,11	50,58	28,05	8,39	0,87	100,00
12	93	8,64	67,76	18,96	4,26	0,38	100,00
13	174	47,02	30,13	18,47	4,25	0,13	100,00
14	177	0,45	11,76	34,07	50,18	3,55	100,00
15	180	0,24	10,25	48,61	36,18	4,72	100,00
16	190	0,53	11,09	53,65	33,34	1,39	100,00
17	197	8,14	46,37	34,44	10,33	0,73	100,00
18	200	0,47	41,13	45,60	11,44	1,36	100,00
19	202	1,47	43,13	44,80	9,31	1,30	100,00
20	204	0,36	34,15	51,64	12,25	1,59	100,00
21	208	0,04	22,02	53,95	21,42	2,57	100,00
22	209	0,33	12,01	50,73	29,82	7,10	100,00
23	220	1,07	38,66	47,78	11,44	1,05	100,00
24	222	0,79	38,79	48,48	11,02	0,92	100,00
25	227	0,29	38,70	46,00	13,15	1,86	100,00
26	228	0,10	18,62	60,45	20,47	0,36	100,00
27	231	14,05	55,63	22,53	7,41	0,39	100,00
28	232	1,74	47,99	36,48	13,38	0,40	100,00
29	234	1,47	22,50	65,50	10,22	0,31	100,00

**Cuadro 1. Registros de pesos de granos de accesiones de *Amaranthus caudatus* L., retenidos en los tamices**

N°	TYLER CÓDIGO ACCESION	PESO DE GRANOS DE KIWICHA RETENIDOS EN LAS MALLAS					
		16	18	20	25	Base	PESO
		gr	gr	gr	gr	gr	gr
30	235	0,34	23,83	49,61	22,41	3,81	100,00
31	237	3,64	42,69	38,32	14,86	0,49	100,00
32	241	15,47	49,46	29,18	5,64	0,24	100,00
33	244	0,78	1,45	49,66	44,92	3,19	100,00
34	245	0,56	33,96	48,78	15,46	1,24	100,00
35	247	0,24	5,51	57,83	33,05	3,36	100,00
36	249	1,20	28,99	53,03	15,90	0,88	100,00
37	250	0,52	36,35	45,67	16,54	0,91	100,00
38	251	1,24	42,74	39,34	14,62	2,06	100,00
39	252	0,33	19,63	50,07	27,36	2,62	100,00
40	256	0,23	27,98	44,74	23,95	3,11	100,00
41	264	11,53	52,26	26,32	8,78	1,10	100,00
42	265	17,31	57,89	18,98	5,48	0,34	100,00
43	266	5,28	42,76	35,31	15,31	1,34	100,00
44	268	0,82	42,52	44,00	11,69	0,97	100,00
45	270	18,57	55,24	19,85	6,17	0,16	100,00
46	274	1,19	36,64	35,30	25,90	0,96	100,00
47	276	10,24	52,65	26,47	10,12	0,53	100,00
48	289	0,42	1,69	51,09	44,43	2,36	100,00
49	290	3,16	48,84	36,05	11,19	0,77	100,00
50	291	0,32	26,54	41,53	29,24	2,35	100,00
51	298	0,19	5,12	57,20	35,22	2,27	100,00
52	305	0,79	35,87	42,91	17,15	3,28	100,00
53	310	1,03	28,72	50,42	17,83	2,01	100,00
54	312	3,78	43,47	39,78	11,57	1,40	100,00
55	318	0,79	41,75	43,01	12,73	1,71	100,00
56	320	3,55	41,63	41,43	12,59	0,80	100,00
57	322	21,55	56,89	17,03	3,86	0,67	100,00
58	332	1,45	50,04	42,28	6,15	0,09	100,00
59	333	0,30	32,55	57,93	8,21	1,01	100,00
60	334	1,50	59,39	31,95	6,16	1,00	100,00

N°	TYLER CÓDIGO ACCESION	PESO DE GRANOS DE KIWICHA RETENIDOS EN LAS MALLAS					
		16	18	20	25	Base	PESO
		gr	gr	gr	gr	gr	gr
61	338	0,16	3,12	57,59	36,85	2,29	100,00
62	341	23,02	57,74	15,76	3,14	0,33	100,00
63	345	15,11	57,28	21,36	5,85	0,40	100,00
64	347	15,60	60,94	20,78	2,29	0,38	100,00
65	353	7,59	54,96	28,50	8,29	0,66	100,00

**Cuadro 2. Comparación de medias con la Prueba T Student entre Tyler 18 y El Tyler 16**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$\mu_{\text{Tyler 18}} \text{ Vs. } \mu_{\text{Tyler 16}}$	$\bar{x}_{18} = 37,8$ $\bar{x}_{16} = 6,09$	H <sub>p</sub> : $\mu_{\text{Tyler 18}} = \mu_{\text{Tyler 16}}$ H <sub>a</sub> : $\mu_{\text{Tyler 18}} > \mu_{\text{Tyler 16}}$	31,71	12,79	0,000	*

**Conclusión:** Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis planteada, se concluye por lo tanto que la media porcentual referida al peso de los granos retenidos por la malla (Tyler 18) es superior a la media porcentual referida al peso de los granos retenidos por la malla (Tyler 16).

**Cuadro 3. Comparación de medias con la Prueba T Student entre Tyler 18 y El Tyler 25**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$\mu_{\text{Tyler 18}} \text{ Vs. } \mu_{\text{Tyler 25}}$	$\bar{x}_{18} = 37,8$ $\bar{x}_{25} = 15,8$	H <sub>p</sub> : $\mu_{\text{Tyler 18}} = \mu_{\text{Tyler 25}}$ H <sub>a</sub> : $\mu_{\text{Tyler 18}} > \mu_{\text{Tyler 25}}$	22,0	8,31	0,000	*

**Conclusión:** Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis planteada, se concluye por lo tanto que la media porcentual referida al peso de los granos retenidos por la malla (Tyler 18) es superior a la media porcentual referida al peso de los granos retenidos por la malla (Tyler 25).

**Cuadro 4. Comparación de medias con la Prueba T Student entre Tyler 18 y La base**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$\mu_{\text{Tyler 18}}$ Vs. $\mu_{\text{Tyler (base)}}$	$\bar{x}_{18} = 37,8$ $\bar{x}_{\text{base}} = 1,45$	H <sub>p</sub> : $\mu_{\text{Tyler 18}} = \mu_{\text{Tyler (base)}}$ H <sub>a</sub> : $\mu_{\text{Tyler 18}} > \mu_{\text{Tyler (base)}}$	36,35	16,33	0,000	*

**Conclusión:** Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis planteada, se concluye por lo tanto que la media porcentual referida al peso de los granos retenidos por la malla (Tyler 18) es superior a la media porcentual referida al peso de los retenidos por la (Base).

**Cuadro 5. Comparación de medias con la Prueba T Student entre Tyler 20 y el Tyler 16**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$\mu_{\text{Tyler 20}}$ Vs. $\mu_{\text{Tyler 16}}$	$\bar{x}_{20} = 38,8$ $\bar{x}_{16} = 6,09$	H <sub>p</sub> : $\mu_{\text{Tyler 20}} = \mu_{\text{Tyler 16}}$ H <sub>a</sub> : $\mu_{\text{Tyler 20}} > \mu_{\text{Tyler 16}}$	32,71	16,16	0,000	*

**Conclusión:** Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis planteada, se concluye por lo tanto que la media porcentual referida al peso de los retenidos por la malla (Tyler 20) es superior a la media porcentual referida al peso de los retenidos por la malla (Tyler 16).

**Cuadro 6. Comparación de medias con la Prueba T Student entre Tyler 20 y el Tyler 25**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$\mu_{\text{Tyler 20}}$ Vs. $\mu_{\text{Tyler 25}}$	$\bar{x}_{20} = 38,8$ $\bar{x}_{25} = 15,8$	H <sub>p</sub> : $\mu_{\text{Tyler 20}} = \mu_{\text{Tyler 25}}$ H <sub>a</sub> : $\mu_{\text{Tyler 20}} > \mu_{\text{Tyler 25}}$	23,0	10,34	0,000	*

**Conclusión:** Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis planteada, se concluye por lo tanto que la media porcentual referida al peso de los granos retenidos por la malla (Tyler 20) es superior a la media porcentual referida al peso de los retenidos por la malla (Tyler 25).

**Cuadro 7. Comparación de medias con la Prueba T Student entre Tyler 20 y la Base**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$\mu_{\text{Tyler 20}}$ Vs. $\mu_{\text{Tyler (base)}}$	$\bar{x}_{20} = 38,8$ $\bar{x}_{\text{base}} = 1,45$	H <sub>p</sub> : $\mu_{\text{Tyler 20}} = \mu_{\text{Tyler (base)}}$ H <sub>a</sub> : $\mu_{\text{Tyler 20}} > \mu_{\text{Tyler (base)}}$	37,35	21,88	0,000	*

**Conclusión:** Con un nivel de significación de 0.05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis planteada, se concluye por lo tanto que la media porcentual referida al peso de los granos retenidos por la malla (Tyler 20) es superior a la media porcentual referida al peso de los retenidos por la (base).

**Cuadro 8. Comparación de medias con la prueba T Student entre Tyler 20 y el Tyler 18**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$\mu_{\text{Tyler 20}}$ Vs. $\mu_{\text{Tyler 18}}$	$\bar{x}_{20} = 38,8$ $\bar{x}_{18} = 37,8$	$H_0: \mu_{\text{Tyler 20}} = \mu_{\text{Tyler 18}}$ $H_a: \mu_{\text{Tyler 20}} > \mu_{\text{Tyler 18}}$	1,0	0,00	0,356	*

**Conclusión:** Con un nivel de significación de 0,05; no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis planteada, se concluye por lo tanto que la media porcentual referida al peso de los retenidos por la malla (Tyler 20) no difiere de la media porcentual referida al peso de los granos retenidos por la malla (Tyler 18) por lo tanto sus medias son similares, además son los que retienen más peso de granos de kiwicha.

## ANEXO B

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE RENDIMIENTO

**Cuadro 1. Comparación de medias con la prueba Tukey de los tres niveles de bisulfito de sodio**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{2=0,20\%}$	$\bar{x}_1 = 20,76$ $\bar{x}_2 = 41,92$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	21,16	42,25	0,000	*
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_1 = 20,76$ $\bar{x}_3 = 36,74$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	15,99	31,92	0,000	*
$a_{2=0,20\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_2 = 41,92$ $\bar{x}_3 = 36,74$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	-5,174	-10,33	0,000	*

**Cuadro 2. Comparación de medias con la prueba de Tukey de los tres niveles de hidróxido de sodio**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{2=0,15\%}$	$\bar{x}_1 = 42,93$ $\bar{x}_2 = 25,77$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-17,17	-34,27	0,000	*
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_1 = 42,93$ $\bar{x}_3 = 30,72$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	-12,22	-24,39	0,000	*
$b_{2=0,15\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_2 = 25,77$ $\bar{x}_3 = 30,72$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	4,95	9,883	0,000	*

**Cuadro 3. Comparación de medias con la prueba Tukey de los dos niveles de alcohol etílico**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
C <sub>1=0%</sub> vs. C <sub>2=90%</sub>	$\bar{x}_1 = 31,57$ $\bar{x}_2 = 34,71$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	3,143	7,686	0,000	*

**ANEXO C**

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE PUREZA**

**Cuadro 1. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de bisulfito de sodio**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
a <sub>1=0%</sub> vs. a <sub>2=0,20%</sub>	$\bar{x}_1 = 95,96$ $\bar{x}_2 = 96,85$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	0,8917	6,744	0,0000	*
a <sub>1=0%</sub> vs. a <sub>3=0,30%</sub>	$\bar{x}_1 = 95,96$ $\bar{x}_3 = 97,61$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	1,6567	12,53	0,0000	*
a <sub>2=0,20%</sub> vs. a <sub>3=0,30%</sub>	$\bar{x}_2 = 96,85$ $\bar{x}_3 = 97,61$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	0,765	5,786	0,0001	*

**Cuadro 2. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de hidróxido de sodio**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{2=0,15\%}$	$\bar{x}_1 = 92,95$ $\bar{x}_2 = 98,47$	H <sub>p</sub> : $\mu_2 - \mu_1 = 0$ H <sub>a</sub> : $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	5,524	41,78	0,000	*
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_1 = 92,95$ $\bar{x}_3 = 99,00$	H <sub>p</sub> : $\mu_3 - \mu_1 = 0$ H <sub>a</sub> : $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	6,057	45,81	0,000	*
$b_{2=0,15\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_2 = 98,47$ $\bar{x}_3 = 99,00$	H <sub>p</sub> : $\mu_3 - \mu_2 = 0$ H <sub>a</sub> : $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	0,5325	4,027	0,0022	*

**Cuadro 3. Comparación de medias con Tukey de los dos niveles de alcohol etílico**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$C_{1=0\%}$ vs. $C_{2=90\%}$	$\bar{x}_1 = 95,80$ $\bar{x}_2 = 97,81$	H <sub>p</sub> : $\mu_2 - \mu_1 = 0$ H <sub>a</sub> : $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	2,002	18,54	0,000	*

**ANEXO D**  
**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE ÍNDICE PORCENTUAL DE**  
**BLANCURA EXPRESADO EN LA ESCALA HUNTER**

**Cuadro 1. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de bisulfito de sodio**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{2=0,20\%}$	$\bar{x}_1 = 84,48$ $\bar{x}_2 = 87,24$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	2,756	2,932	0,0231	*
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_1 = 84,48$ $\bar{x}_3 = 91,32$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	6,835	7,272	0,0000	*
$a_{2=0,20\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_2 = 87,24$ $\bar{x}_3 = 91,32$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	4,079	4,34	0,0011	*

**Cuadro 2. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de hidróxido de sodio**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{2=0,15\%}$	$\bar{x}_1 = 75,55$ $\bar{x}_2 = 93,73$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	18,18	19,34	0,000	*
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_1 = 75,55$ $\bar{x}_3 = 93,76$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	18,21	19,38	0,000	*
$b_{2=0,15\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_2 = 93,73$ $\bar{x}_3 = 93,76$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	0,0325	0,035	0,9993	n.s

**Cuadro 3. Comparación de medias con Tukey de los dos niveles de alcohol étílico**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
C <sub>1=0%</sub> vs. C <sub>2=90%</sub>	$\bar{x}_1 = 86,51$ $\bar{x}_2 = 88,85$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	2,332	3,038	0,0071	*

PERCY REYES JAVIER

### ANEXO E

**ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE LA PROTEÍNA CRUDA PRESENTE EN EL ALMIDÓN AISLADO**  
**Cuadro 1. Concentración residual de proteína cruda expresada en porcentaje presente en el almidón aislado de kiwicha empleando diferentes de bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y alcohol etílico**

Bisulfito de sodio %	0,00						0,20						0,30					
	0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25	
Hidróxido de sodio %	0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25	
Alcohol etílico %	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
Producción I	0,65	0,50	0,24	0,25	0,24	0,24	0,34	0,34	0,19	0,18	0,12	0,11	0,23	0,23	0,16	0,15	0,12	0,09
	0,65	0,50	0,25	0,26	0,24	0,24	0,34	0,33	0,18	0,18	0,12	0,11	0,23	0,23	0,15	0,15	0,12	0,10
	0,65	0,51	0,25	0,25	0,24	0,23	0,34	0,33	0,18	0,18	0,12	0,11	0,23	0,22	0,16	0,15	0,11	0,10
Producción II	0,65	0,54	0,26	0,26	0,22	0,24	0,34	0,34	0,19	0,18	0,12	0,12	0,23	0,23	0,16	0,14	0,11	0,10
	0,65	0,56	0,26	0,25	0,23	0,23	0,34	0,33	0,19	0,18	0,13	0,11	0,24	0,23	0,16	0,14	0,11	0,10
	0,65	0,56	0,26	0,26	0,22	0,23	0,34	0,33	0,19	0,18	0,13	0,11	0,24	0,23	0,16	0,15	0,11	0,10
<b>Total</b>	3,9	3,18	1,51	1,53	1,4	1,41	2,02	1,99	1,12	1,08	0,74	0,68	1,41	1,37	0,95	0,88	0,69	0,59
<b>Promedio</b>	0,65	0,53	0,25	0,25	0,23	0,23	0,34	0,33	0,19	0,18	0,12	0,11	0,23	0,23	0,16	0,15	0,11	0,10

**Prueba de Tukey para la comparación de medias de concentración residual de proteína cruda en almidón aislado de kiwicha**

**Cuadro 2. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de bisulfito de sodio**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{2=0,20\%}$	$\bar{x}_1 = 0,36$ $\bar{x}_2 = 0,21$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-0,1469	-80,3	0,0000	*
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_1 = 0,36$ $\bar{x}_3 = 0,16$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	-0,1957	-106,9	0,0000	*
$a_{2=0,20\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_2 = 0,21$ $\bar{x}_3 = 0,16$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	-0,04878	-26,65	0,0000	*

**Cuadro 3. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de hidróxido de sodio**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{2=0,15\%}$	$\bar{x}_1 = 0,39$ $\bar{x}_2 = 0,20$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-0,1893	-103,4	0,000	*
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_1 = 0,39$ $\bar{x}_3 = 0,15$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	-0,2326	-127,1	0,000	*
$b_{2=0,15\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_2 = 0,20$ $\bar{x}_3 = 0,15$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	-0,0433	-23,66	0,000	*

**Cuadro 4. Comparación de medias con Tukey de los dos niveles de alcohol etílico**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
C <sub>1=0%</sub> vs. C <sub>2=90%</sub>	$\bar{x}_1 = 0,25$ $\bar{x}_2 = 0,24$	H <sub>p</sub> : $\mu_2 - \mu_1 = 0$ H <sub>a</sub> : $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-0,01905	-12,74	0,000	*

PERCY REYES JAVIER

**ANEXO F**

**ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE LA GRASA RESIDUAL PRESENTE EN EL ALMIDÓN AISLADO**

**Cuadro 1. Concentración residual de grasa (expresada en porcentaje) presente en el almidón aislado de kiwicha, empleando diferentes concentraciones de bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y alcohol etílico.**

Bisulfito de sodio %	0,00						0,20						0,30					
	0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25	
Hidróxido de sodio %	0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25	
Alcohol etílico %	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
Producción I	7,67	1,78	0,28	0,16	0,35	0,02	5,85	1,37	0,27	0,13	0,34	0,02	5,20	1,14	0,27	0,04	0,34	0,01
	7,63	1,74	0,28	0,16	0,35	0,02	5,98	1,39	0,27	0,13	0,33	0,02	5,23	1,12	0,27	0,04	0,35	0,01
	7,60	1,79	0,29	0,16	0,34	0,02	5,98	1,40	0,28	0,13	0,35	0,02	5,25	1,13	0,28	0,04	0,35	0,01
Producción II	7,64	1,78	0,27	0,17	0,38	0,02	6,95	1,44	0,25	0,16	0,34	0,02	5,12	1,11	0,25	0,05	0,36	0,01
	7,50	1,77	0,29	0,17	0,38	0,02	6,99	1,40	0,24	0,17	0,34	0,02	5,23	1,13	0,25	0,05	0,35	0,01
	7,60	1,80	0,28	0,17	0,39	0,02	7,01	1,42	0,25	0,16	0,33	0,02	5,20	1,13	0,25	0,05	0,34	0,01
<b>Total</b>	45,6	10,7	1,7	0,99	2,19	0,13	38,8	8,43	1,55	0,89	2,02	0,12	31,2	6,78	1,57	0,26	2,09	0,08
<b>Promedio</b>	7,60	1,78	0,28	0,16	0,36	0,02	6,46	1,40	0,26	0,15	0,34	0,02	5,21	1,13	0,26	0,04	0,35	0,01

**Prueba de Tukey para la comparación de medias de concentración residual de grasa (expresada como porcentaje) en almidón aislado de kiwicha**

Cuadro 2. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de bisulfito de sodio

Comparación De Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{2=0,20\%}$	$\bar{x}_1 = 1,70$ $\bar{x}_2 = 1,44$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-0,2642	-8,18	0,000	*
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_1 = 1,70$ $\bar{x}_3 = 1,17$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	-0,5351	-16,56	0,000	*
$a_{2=0,20\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_2 = 1,44$ $\bar{x}_3 = 1,17$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	-0,2709	-8,385	0,000	*

Cuadro 3. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de hidróxido de sodio

Comparación De Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{2=0,15\%}$	$\bar{x}_1 = 3,93$ $\bar{x}_2 = 0,19$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-3,737	-115,7	0,000	*
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_1 = 3,93$ $\bar{x}_3 = 0,18$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	-3,746	-116,0	0,000	*
$b_{2=0,15\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_2 = 0,19$ $\bar{x}_3 = 0,18$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	-0,0089	-0,2765	0.959	n.s

Cuadro 4. Comparación de medias con Tukey de los dos niveles de alcohol etílico

Comparación De Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
C <sub>1=0%</sub> vs. C <sub>2=90%</sub>	$\bar{x}_1 = 2,35$ $\bar{x}_2 = 0,52$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-1,822	-69,09	0,000	*

PERCY REYES JAVIER



**Prueba de Tukey para la comparación de medias de concentración residual de fibra cruda expresada como porcentaje presente en el almidón aislado de kiwicha**

Cuadro 2. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de bisulfito de sodio

Comparación De Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{2=0,20\%}$	$\bar{x}_1 = 0,61$ $\bar{x}_2 = 0,45$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-0,1605	-87,0	0,0000	*
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_1 = 0,61$ $\bar{x}_3 = 0,24$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	-0,3729	-202,1	0,0000	*
$a_{2=0,20\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_2 = 0,45$ $\bar{x}_3 = 0,24$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	-0,2123	-115,1	0,0000	*

Cuadro 3. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de hidróxido de sodio

Comparación De Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{2=0,15\%}$	$\bar{x}_1 = 0,82$ $\bar{x}_2 = 0,49$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-0,3313	-179,5	0,000	*
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_1 = 0,82$ $\bar{x}_3 = 0,00$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	-0,8209	-444,9	0,000	*
$b_{2=0,15\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_2 = 0,49$ $\bar{x}_3 = 0,00$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	-0,4896	-265,3	0,000	*

Cuadro 4. Comparación de medias con Tukey de los dos niveles de alcohol etílico

Comparación De Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
C <sub>1</sub> =0% vs. C <sub>2</sub> =90%	$\bar{x}_1 = 0,44$ $\bar{x}_2 = 0,44$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	0,002189	1,453	0,1498	n.s

PERCY REYES JAVIER

ANEXO H

ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE LA CENIZA RESIDUAL PRESENTE EN EL ALMIDÓN AISLADO

Cuadro 1. Concentración residual de ceniza (expresada como porcentaje) presente en el almidón aislado de kiwicha, empleando diferentes concentraciones de bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y alcohol etílico

Bisulfito de sodio %	0,00						0,20						0,30					
	0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25	
Hidróxido de sodio %	0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25	
Alcohol etílico %	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
Producción I	0,72	0,56	0,27	0,29	0,27	0,27	0,38	0,38	0,21	0,20	0,14	0,13	0,26	0,25	0,18	0,17	0,14	0,11
	0,72	0,56	0,28	0,29	0,27	0,27	0,38	0,37	0,21	0,20	0,14	0,13	0,26	0,26	0,17	0,17	0,13	0,11
	0,72	0,57	0,28	0,28	0,27	0,26	0,38	0,37	0,21	0,21	0,14	0,13	0,26	0,25	0,18	0,17	0,13	0,11
Producción II	0,72	0,61	0,30	0,29	0,25	0,27	0,38	0,38	0,21	0,20	0,14	0,13	0,26	0,25	0,18	0,16	0,13	0,11
	0,72	0,62	0,30	0,28	0,26	0,26	0,38	0,37	0,21	0,20	0,15	0,13	0,26	0,26	0,18	0,16	0,13	0,11
	0,72	0,62	0,29	0,29	0,25	0,26	0,38	0,37	0,21	0,21	0,15	0,13	0,27	0,26	0,18	0,17	0,13	0,11
<b>Total</b>	4,32	3,54	1,71	1,72	1,58	1,59	2,27	2,25	1,26	1,23	0,86	0,76	1,57	1,53	1,08	1,00	0,79	0,66
<b>Promedio</b>	0,72	0,59	0,29	0,29	0,26	0,27	0,38	0,37	0,21	0,20	0,14	0,13	0,26	0,26	0,18	0,17	0,13	0,11

**Prueba de Tukey para la comparación de medias de concentración residual de ceniza (expresada como porcentaje) presente en el almidón aislado de kiwicha**

**Cuadro 2. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de bisulfito de sodio**

Comparación De Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{2=0,20\%}$	$\bar{x}_1 = 0,40$ $\bar{x}_2 = 0,24$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-0,1623	-78,6	0,0000	*
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_1 = 0,40$ $\bar{x}_3 = 0,18$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	-0,2175	-105,4	0,0000	*
$a_{2=0,20\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_2 = 0,24$ $\bar{x}_3 = 0,18$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	-0,05523	-26,77	0,0000	*

**Cuadro 3. Comparación de medias con la prueba de Tukey de los tres niveles de hidróxido de sodio**

Comparación De Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{2=0,15\%}$	$\bar{x}_1 = 0,43$ $\bar{x}_2 = 0,22$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-0,2076	-100,6	0,000	*
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_1 = 0,43$ $\bar{x}_3 = 0,17$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	-0,2563	-124,2	0,000	*
$b_{2=0,15\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_2 = 0,22$ $\bar{x}_3 = 0,17$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	-0,04874	-23,62	0,000	*

**Cuadro 4. Comparación de medias con Tukey de los dos niveles de alcohol etílico**

Comparación De Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
C <sub>1=0%</sub> vs. C <sub>2=90%</sub>	$\bar{x}_1 = 0,29$ $\bar{x}_2 = 0,26$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	-0,02158	-12,81	0,000	*

PERCY REYES JAVIER

**ANEXO I**  
**ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE AMILOSA PRESENTE EN EL ALMIDÓN AISLADO**

**Cuadro 1. Concentración de amilosa (expresada como porcentaje) presente en el almidón aislado de kiwicha, empleando diferentes concentraciones de bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y alcohol etílico**

Bisulfito de sodio %	0,00						0,20						0,30					
	0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25	
Hidróxido de sodio %	0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25	
Alcohol etílico %	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
Producción I	3,21	3,55	3,29	3,71	3,28	3,62	3,25	3,83	3,84	3,53	4,05	3,68	3,68	3,93	4,10	3,51	4,05	3,92
	3,10	3,56	3,29	3,50	3,62	3,28	3,59	3,50	3,61	3,76	3,94	3,68	3,91	3,82	4,10	3,85	3,59	3,81
	3,31	3,34	3,52	3,28	3,62	3,39	3,37	3,50	3,84	3,87	4,06	3,90	3,91	4,04	3,87	3,85	3,93	3,92
Producción II	3,42	3,56	3,76	3,49	3,74	3,40	3,48	3,72	3,72	3,53	4,18	3,80	3,79	4,04	3,64	4,08	4,17	3,70
	3,20	3,45	3,31	3,61	3,40	3,29	3,36	3,50	3,50	3,76	3,71	4,02	3,68	3,82	3,53	3,97	4,05	4,03
	3,10	3,44	3,41	3,39	3,51	3,51	3,25	3,49	3,72	3,53	3,94	4,02	4,02	3,93	3,98	3,85	3,70	3,59
<b>Total</b>	19,3	20,9	20,6	21,0	21,2	20,5	20,3	21,5	22,2	22,0	23,9	23,1	23,0	23,6	23,2	23,1	23,5	23,0
<b>Promedio</b>	3,22	3,48	3,43	3,50	3,53	3,42	3,38	3,59	3,71	3,66	3,98	3,85	3,83	3,93	3,87	3,85	3,92	3,83

**Prueba de Tukey para la comparación de medias de concentración de amilosa (expresada como porcentaje) presente en el almidón aislado de kiwicha**

**Cuadro 2. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de bisulfito de sodio**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{2=0,20\%}$	$\bar{x}_1 = 3,43$ $\bar{x}_2 = 3,70$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	0,2658	7,092	0,0000	*
$a_{1=0\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_1 = 3,43$ $\bar{x}_3 = 3,87$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	0,4417	11,783	0,0000	*
$a_{2=0,20\%}$ vs. $a_{3=0,30\%}$	$\bar{x}_2 = 3,70$ $\bar{x}_3 = 3,87$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	0,1758	4,691	0,0000	*

**Cuadro 3. Comparación de medias con Tukey de los tres niveles de hidróxido de sodio**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{2=0,15\%}$	$\bar{x}_1 = 3,57$ $\bar{x}_2 = 3,67$	Hp: $\mu_2 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	0,09583	2,557	0,034	*
$b_{1=0\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_1 = 3,57$ $\bar{x}_3 = 3,75$	Hp: $\mu_3 - \mu_1 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_1 \neq 0$	0,17917	4,78	0,000	*
$b_{2=0,15\%}$ vs. $b_{3=0,25\%}$	$\bar{x}_2 = 3,67$ $\bar{x}_3 = 3,75$	Hp: $\mu_3 - \mu_2 = 0$ Ha: $\mu_3 - \mu_2 \neq 0$	0,08333	2,223	0,073	n.s

**Cuadro 4. Comparación de medias con Tukey de los dos niveles de alcohol étílico**

Comparación de Medias	Promedios	Prueba de Hipótesis	Diferencia de Promedios	T-Value	P-Value	Sig
C <sub>1=0%</sub> vs. C <sub>2=90%</sub>	$\bar{x}_1 = 3,65$ $\bar{x}_2 = 3,68$	H <sub>p</sub> : $\mu_2 - \mu_1 = 0$ H <sub>a</sub> : $\mu_2 - \mu_1 \neq 0$	0.02685	0.8773	0.3826	n.s

PERCY REYES JAVIER

**ANEXO J**  
**CONTENIDO DE HUMEDAD PRESENTE EN EL ALMIDÓN AISLADO**

**Cuadro 1. Contenido de humedad (expresada como porcentaje) presente en el almidón aislado de kiwicha, empleando diferentes concentraciones de bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y alcohol etílico**

Bisulfito de sodio %	0,00						0,20						0,30							
	0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25		0,00		0,15		0,25			
Hidróxido de sodio %	0		90		0		90		0		90		0		90		0		90	
Alcohol etílico %	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
<b>Producción I</b>	9,73	9,95	11,86	11,03	11,66	11,71	10,64	11,29	11,37	12,16	13,66	10,35	10,33	10,86	12,18	11,73	13,65	10,78		
	9,66	10,09	11,82	11,32	11,65	11,66	10,85	11,39	11,31	12,19	13,77	10,33	10,39	10,90	12,20	11,76	13,56	10,76		
	9,46	10,16	11,91	11,57	11,57	11,62	10,99	11,32	11,38	12,09	13,87	10,37	10,41	10,87	12,17	11,72	13,58	10,75		
<b>Producción II</b>	9,48	10,08	12,32	11,07	11,66	11,71	10,82	11,40	11,38	12,09	13,81	10,47	10,30	10,99	12,18	11,71	13,63	10,83		
	9,49	10,15	12,35	11,25	11,66	11,76	10,69	11,45	11,53	12,13	13,86	10,39	10,34	10,98	12,17	11,73	13,55	10,76		
	9,78	10,00	12,11	11,61	11,58	11,79	10,78	11,28	11,34	12,30	13,71	10,35	10,39	10,97	12,15	11,80	13,59	10,74		
<b>Total</b>	57,6	60,4	72,40	67,90	69,80	70,30	64,80	68,10	68,30	73,00	82,70	62,30	62,20	65,60	73,10	70,50	81,60	64,60		
<b>Promedio</b>	9,60	10,07	12,06	11,31	11,63	11,71	10,80	11,36	11,39	12,16	13,78	10,38	10,36	10,93	12,18	11,74	13,59	10,77		

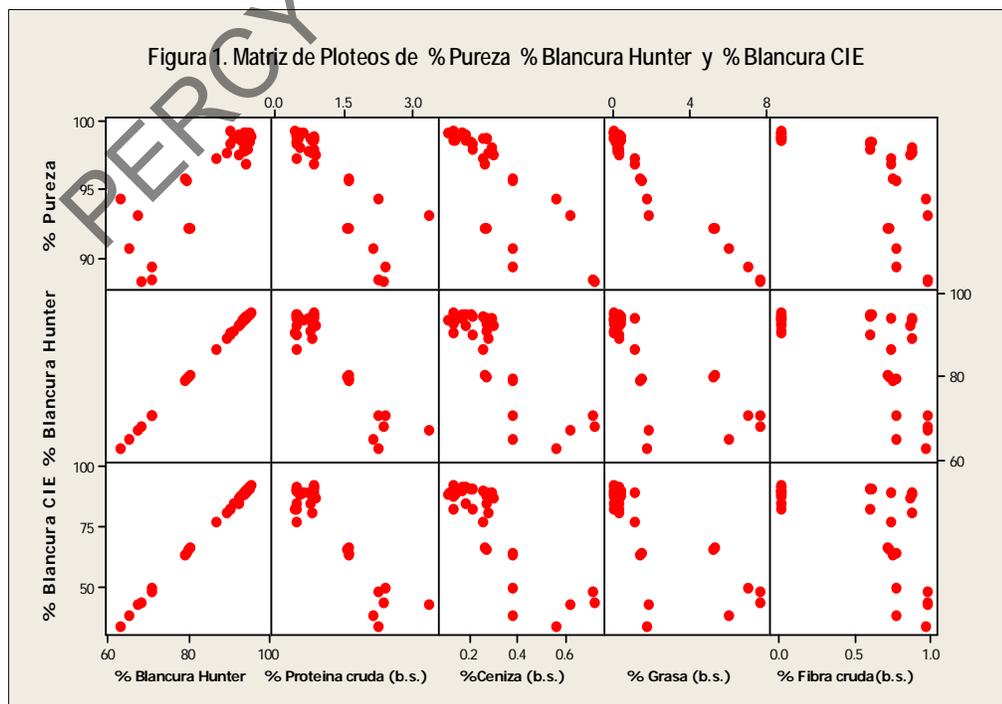
## ANEXO K

### ANÁLISIS DEL EFECTO PRODUCIDO EN LAS VARIABLES PUREZA, BLANCURA HUNTER Y BLANCURA CIE (EXPRESADAS COMO PORCENTAJE) DEBIDO A LAS CONCENTRACIONES RESIDUALES PORCENTUALES DE (PROTEÍNA CRUDA, EXTRACTO ETÉREO, FIBRA CRUDA, CENIZA TOTAL) PRESENTES EN EL ALMIDÓN AISLADO DE GRANOS DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus* L.) VARIEDAD CENTENARIO

#### K.1 Análisis previos

Para fundamentar la relación existente entre las variables Pureza, Blancura Hunter y Blancura CIE (expresadas como porcentaje) y las concentraciones residuales porcentuales de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza total presentes en el almidón aislado de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) variedad Centenario, se tienen que realizar análisis previos.

En el Figura 1 del presente anexo K se aprecia el tipo de tendencia de la variable dependiente (vertical) con cada una de las variables independientes (horizontal). Se debe precisar que cada una de las variables dependientes no puede regresionarse consigo misma.



**Caso de porcentaje de Pureza:** Esta variable presenta una relación lineal negativa con las variables (expresadas en porcentaje) Proteína cruda, Ceniza y Grasa. Pero aparentemente no se presenta alguna relación lineal con las variables porcentuales Blancura Hunter y Fibra cruda, porque se visualizan puntos dispersos al extremo derecho.

**Caso de Índice Porcentual de Blancura en la escala Hunter:** Esta variable presenta una relación lineal negativa con las variables (expresadas en porcentaje) Proteína cruda y Ceniza. Pero aparentemente no se presenta alguna relación lineal con las variables (expresadas en porcentaje) Grasa y Fibra cruda, porque se visualizan puntos dispersos al extremo derecho.

**Caso de Índice Porcentual de Blancura en la escala CIE:** Esta variable también presenta una relación lineal negativa con las variables (expresadas en porcentaje) Proteína cruda y Ceniza. Además aparentemente no se presenta alguna relación lineal con las variables (expresadas en porcentaje) Grasa y Fibra cruda, porque se visualizan puntos dispersos al extremo derecho.

## K. 2 Análisis de Regresión Múltiple de la Variable Pureza

**Primer modelo:**

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$$

$$H_1: \text{Al menos un } \beta_j \neq 0$$

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión de la variable “Blancura Hunter”

$\beta_2$  = Coeficiente de regresión de la variable “Proteína Cruda”

$\beta_3$  = Coeficiente de regresión de la variable “Ceniza en base seca”

$\beta_4$  = Coeficiente de regresión de la variable “Grasa en base seca”

$\beta_5$  = Coeficiente de regresión de la variable “Fibra Cruda en base seca”.

**Cuadro 1. Análisis de Variancia Para la Evaluación de Significancia de Los Efectos en Conjunto de las Variables Predictoras con Respecto a la Variable Pureza**

Fuente de Variación	DF	SC	CM	F Calc	P-Value	Sig
Regresión	5	389,130	77,826	7629855,42	0,000	*
Error	30	0,000306	0,00001			
Total	35	389,131				

$R^2 = 100,0\%$

**Conclusiones:**

- Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto se concluye que al menos uno de los coeficientes de regresión (efectos) es diferente de cero.
- El coeficiente de determinación nos indica que el 100% de la variabilidad de la variable pureza es estadísticamente explicado por las variables independientes.

**La ecuación de regresión:**

**Pureza (expresado en porcentaje) = 100 + 0,000120 % Blancura Hunter - 0,999 % Proteína cruda (b.s.) - 0,997 % Ceniza (b.s.) - 1,00 % Grasa (b.s.) - 0,999 % Fibra cruda (b.s.)**

**Cuadro 2. Prueba T de Evaluación de Significancia Individual de las Variables Predictoras**

<b>Variables Predictoras (en porcentaje)</b>	<b>Coef</b>	<b>SE Coef</b>	<b>T</b>	<b>P-Value</b>	<b>Sig</b>
Constant	99,9870	0,0159	6284,44	0,000	*
% Blancura Hunter	0,0001205	0,0001571	0,77	0,449	n.s
% Proteína cruda (b.s.)	-0,998594	0,002034	-490,89	0,000	*
% Ceniza (b.s.)	-0,996744	0,007200	-138,44	0,000	*
% Grasa (b.s.)	-1,00030	0,00038	-2650,59	0,000	*
% Fibra cruda(b.s.)	-0,999250	0,001917	-521,13	0,000	*

**Conclusión:**

Con nivel de significación de 0,05; la variable Índice de Blancura en la escala Hunter no es significativa, las demás variables resultaron ser significativas quieren decir que sus efectos son no nulos.

Debido a que la variable Índice de Blancura en la escala Hunter no es significativa, se la retira del modelo y se volvió a regresionar con las variables que son estadísticamente significativas presentando el siguiente modelo:

**Segundo Modelo:**

$$H_a: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

$$H_p: \text{Al menos un } \beta_j \neq 0$$

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión de la variable “Proteína Cruda”

$\beta_2$  = Coeficiente de regresión de la variable “Ceniza en base seca”

$\beta_3$  = Coeficiente de regresión de la variable “Grasa en base seca”

$\beta_4$  = Coeficiente de regresión de la variable “Fibra Cruda en base seca”.

**Cuadro 3. Análisis de Variancia Para la Evaluación de Significancia de Los Efectos en Conjunto de las Variables Predictoras Con Respecto a la variable Pureza**

Fuente de Variación	G.L	SC	CM	F Calc	P-Value	Sig
Regresión	4	389,130	97,283	9665722,81	0,000	*
Error	31	0,000312	0,00001			
Total	35	389,131				

$$R^2 = 100,0\%$$

**Conclusiones:**

- Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo tanto se concluye que al menos uno de los coeficientes de regresión (efectos) es diferente de cero.
- El coeficiente de determinación nos indica que el 100% de la variabilidad de la variable pureza es estadísticamente explicado por las variables independientes.

**La ecuación de regresión es:**

**Pureza (expresado en porcentaje) = 100 - 1,00 % Proteína cruda (b.s.) - 0,998 %Ceniza (b.s.) - 1,00 % Grasa (b.s.) - 0,999 % Fibra cruda (b.s.)**

**Cuadro 4. Prueba T de Evaluación de Significancia Individual de las Variables Predictoras**

Variables Predictoras	Coef	SE Coef	T	P-Value	Sig
Constant	99,999	0,001	85167,11	0,000	*
% Proteína cruda (b.s.)	-0,999671	0,001462	-683,73	0,000	*
% Ceniza (b.s.)	-0,997684	0,007047	-141,57	0,000	*
% Grasa (b.s.)	-1,00040	0,00035	<b>-2866,88</b>	0,000	*
% Fibra cruda(b.s.)	-0,999403	0,001894	-527,58	0,000	*

**Conclusión:**

Con nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para afirmar que los coeficientes de regresión resultaron ser significativas, lo cual quiere decir que sus efectos son no nulos.

**Interpretación de las variables predictoras.**

- Si la proteína cruda disminuye en 1,0%, la pureza aumentará en promedio aproximadamente en 1,0% manteniendo constante las demás variables.

- Si la ceniza disminuye en 1,0%, la pureza aumentará en promedio aproximadamente en 0,998% manteniendo constante las demás variables.
- Si la grasa disminuye en 1,0%, la pureza aumentará en promedio aproximadamente en 1,0% manteniendo constante las demás variables.
- Si la Fibra Cruda (base seca) disminuye en 1,0%, la pureza aumentará en promedio aproximadamente en 0,999% manteniendo constante las demás variables.

### **K.2.1. Análisis de Regresión Lineal Simple de la Variable Índice de Blancura en la escala Hunter Vs. Pureza.**

Debido a que la variable Índice de Blancura en la escala Hunter no pudo formar parte del modelo de regresión multivarial para predecir el porcentaje de Pureza, se propone y desarrolla un modelo de regresión simple para determinar si la variable Pureza (expresado en porcentaje) puede ser explicada por la variable Índice de Blancura en la escala Hunter.

#### **Modelo de Regresión Simple Propuesto.**

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

$$H_a: \beta_1 = 0$$

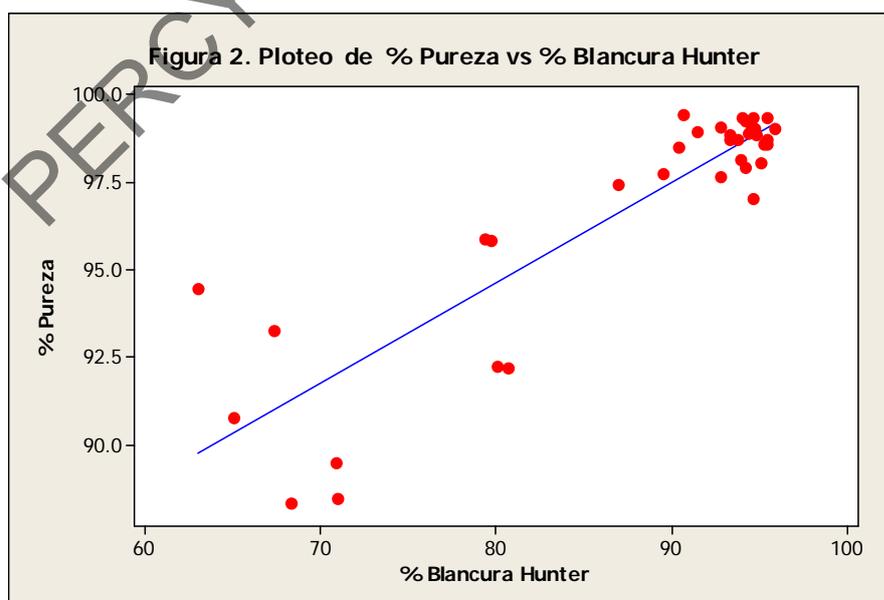
$$H_p: \beta_1 \neq 0$$

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión de la variable "Pureza"

**Cuadro 5. Análisis de Variancia**

Fuente de Variación	G.L	S.C	C.M	F Calc.	P-Value
Regresión	1	304,40	304,40	122,15	0,000
Residual Error	34	84,73	2,49		
Total	35	389,13			

$R^2 = 78,2\%$



### Conclusiones de los resultados mostrados en el Cuadro 5 y Figura 2.

- Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto se concluye que el coeficiente de regresión es diferente de cero.
- El coeficiente de determinación nos indica que el 78,2% de la variabilidad de la variable Pureza (expresada en porcentaje) está estadísticamente explicado por la variable Índice de Blancura en la escala Hunter.

#### La regresión ecuación es:

Pureza (expresada en porcentaje) = 71,7 + 0,286.% Blancura Hunter

#### Interpretación:

Si el Índice Blancura Hunter (expresado en porcentaje) aumenta ó disminuye en 1,0%, la pureza aumentará ó disminuirá en promedio aproximadamente en 0,286%.

### K.2.2 Análisis de Regresión Lineal Simple de la Variable Índice Blancura CIE (%) Vs. Variable Pureza (expresado en porcentaje).

#### Modelo de Regresión Simple.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

$$H_a: \beta_1 = 0$$

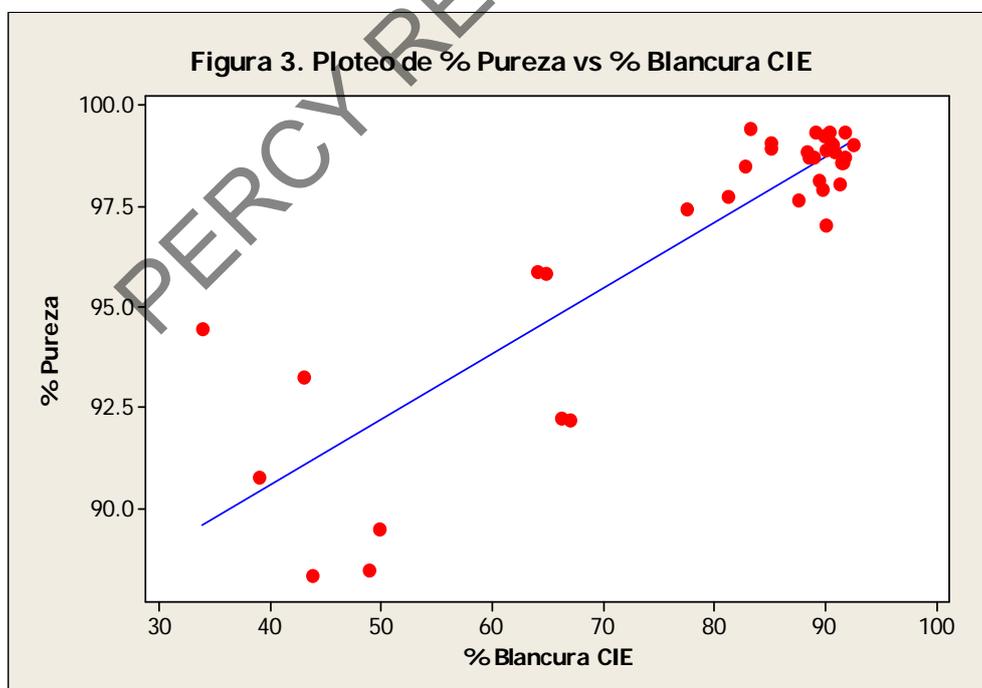
$$H_p: \beta_1 \neq 0$$

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión de la variable "Pureza"

**Cuadro 6. Análisis de Variancia**

Fuente de Variación	G.L	S.C	C.M	F Calc	P- Value
Regresión	1	300,65	300,65	115,54	0,000
Residual Error	34	88,48	2,60		
Total	35	389,13			

$R^2 = 77,3\%$



### Conclusiones de los resultados mostrados el Cuadro 6 y Figura 3.

- Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto se concluye que el coeficiente de regresión es diferente de cero.
- El coeficiente de determinación nos indica que el 77,3% de la variabilidad de la variable Pureza (expresado en porcentaje) está estadísticamente explicado por la variable Índice de Blancura CIE.

#### La regresión ecuación es:

Pureza (expresado en porcentaje) = 84,1 + 0,163.% Blancura CIE

#### Interpretación:

Si el Índice de Blancura CIE aumenta ó disminuye en 1,0%, la Pureza aumentará ó disminuirá en promedio aproximadamente en 0,163%

### K.3 Análisis de Regresión Múltiple de la Variable Índice Blancura en la escala Hunter.

#### Primer modelo:

$$H_a: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

$$H_p: \text{Al menos un } \beta_j \neq 0$$

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión de la variable "Proteína Cruda"

$\beta_2$  = Coeficiente de regresión de la variable "Ceniza en base seca"

$\beta_3$  = Coeficiente de regresión de la variable "Grasa en base seca"

$\beta_4$  = Coeficiente de regresión de la variable "Fibra Cruda en base seca".

**Cuadro 7. Análisis de Variancia para la Evaluación de Significancia de Los Efectos en Conjunto de las Variables Predictoras con Respecto a la Variable Índice de Blancura en la escala Hunter**

Fuente de Variación	G.L	SC	CM	F Calc	P-Value	Sig
Regresión	4	3307,04	826,76	62,01	0,000	*
Error	31	413,33	13,33			
Total	35	3720,38				

$R^2 = 88,9\%$

**Conclusiones:**

- Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto se concluye que al menos uno de los coeficientes de regresión (efectos) es diferente de cero.
- El coeficiente de determinación nos indica que el 88,9% de la variabilidad de la variable Índice de Blancura Hunter (%) es estadísticamente explicado por las variables independientes.

**La ecuación de regresión de:**

**Índice de Blancura Hunter (porcentaje) = 101 - 8,94 % Proteína cruda (b.s.) - 7,80 % Ceniza (b.s.) - 0,878 % Grasa (b.s.) - 1,27 % Fibra cruda (b.s.)**

**Cuadro 8. Prueba T de Evaluación de Significancia Individual de las Variables Predictoras**

Variables Predictoras	Coef	SE Coef	T	P-Value	Sig
Constant	101,000	1,351	74,74	0,000	*
% Proteína cruda (b.s.)	-8,938	1,683	-5,31	0,000	*
%Ceniza (b.s.)	-7,803	8,111	-0,96	0,343	n.s
% Grasa (b.s.)	-0,8778	0,4016	-2,19	0,037	*
% Fibra cruda(b.s.)	-1,271	2,180	-0,58	0,564	n.s

**Conclusión:** Con nivel de significación de 0,05; las variables (expresadas en porcentaje) Ceniza y Fibra cruda no son significativas, las demás variables resultaron ser significativas quieren decir que sus efectos son no nulos.

Debido a que las variables (expresadas en porcentaje) Ceniza y Fibra cruda no son significativas, se las retira del modelo y se volvió a regresionar con las variables que son estadísticamente significativas presentando el siguiente modelo:

**Segundo modelo:**

$$H_a: \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_p: \text{Al menos un } \beta_j \neq 0$$

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión de la variable "Proteína Cruda"

$\beta_2$  = Coeficiente de regresión de la variable "Grasa en base seca"

**Cuadro 9. Análisis de Variancia Para la Evaluación de Significancia de los Efectos en Conjunto de las Variables Predictoras con Respecto a la Variable Índice de Blancura en la escala Hunter**

Fuente de Variación	DF	SC	CM	F Calc	P-Value	Sig
Regresión	2	3278,2	1639,1	122,31	0,000	*
Error	33	442,2	13,4			
Total	35	3720,4				

$$R^2 = 88,1\%$$

**Conclusiones:**

- Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto se concluye que al menos uno de los coeficientes de regresión (efectos) es diferente de cero.
- El coeficiente de determinación nos indica que el 88,1% de la variabilidad de la variable Índice de Blancura en la escala Hunter es estadísticamente explicado por las variables independientes.

**La ecuación de regresión es:**

**Índice de Blancura Hunter (expresado en porcentaje) = 100 - 10,5 %**

Proteína cruda (b.s.) - 0,991 % Grasa (b.s.)

**Cuadro 10. Prueba T de Evaluación de Significancia Individual de las Variables Predictoras**

Variables Predictoras	Coef	SE Coef	T	P-Value	Sig
Constant	100,092	1,139	87,89	0,000	*
% Proteína cruda (b.s.)	-10,497	1,249	-8,40	0,000	*
% Grasa (b.s.)	-0,9906	0,3952	-2,51	0,017	*

**Conclusión:**

Con nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para afirmar que los dos coeficientes de regresión resultaron ser significativas, lo cual quiere decir que sus efectos son no nulos.

**Interpretación de las variables predictoras:**

- Si la proteína cruda expresada en base seca disminuye en 1,0%, el Índice de Blancura Hunter aumentará en promedio aproximadamente en 10,5% manteniendo constante la variable grasa expresada en base seca.
- Si la grasa expresada en base seca disminuye en 1,0%, el Índice de Blancura Hunter aumentará en promedio aproximadamente en 0,991% manteniendo constante la variable proteína cruda expresada en base seca.

#### K. 4 Análisis de Regresión Múltiple de la Variable Índice de Blancura en la escala CIE.

##### Primer modelo:

$$H_a: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

$$H_p: \text{Al menos un } \beta_j \neq 0$$

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión de la variable "Proteína Cruda"

$\beta_2$  = Coeficiente de regresión de la variable "Ceniza en base seca"

$\beta_3$  = Coeficiente de regresión de la variable "Grasa en base seca"

$\beta_4$  = Coeficiente de regresión de la variable "Fibra Cruda en base seca".

**Cuadro 11. Análisis de Variancia Para la Evaluación de Significancia de Los Efectos en Conjunto de las Variables Predictoras con Respecto a la Variable Índice de Blancura en la escala CIE.**

Fuente de Variación	DF	SC	CM	F Calc	P-Value	Sig
Regresión	4	9994,0	2498,5	58,08	0,000	*
Error	31	1333,5	43,0			
Total	35	11327,5				

$$R^2 = 88,2\%$$

**Conclusiones:**

- Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto se concluye que al menos uno de los coeficientes de regresión (efectos) es diferente de cero.
- El coeficiente de determinación nos indica que el 88,2% de la variabilidad de la variable Índice de Blancura en la escala CIE (expresado en porcentaje) está estadísticamente explicado por las variables independientes.

**La ecuación regresión es:**

**Índice de Blancura CIE (expresado en porcentaje) = 102 - 15,2 %**

Proteína cruda (b.s.) - 17,1 % Ceniza (b.s.) - 1,45 % Grasa (b.s.) - 1,75 %

Fibra cruda (b.s.)

**Cuadro 12. Prueba T de Evaluación de Significancia Individual de las Variables Predictoras**

Variables Predictoras	Coef	SE Coef	T	P-Value	Sig
Constant	101,783	2,427	41,93	0,000	*
% Proteína cruda (b.s.)	-15,228	3,023	-5,04	0,000	*
%Ceniza (b.s.)	-17,13	14,57	-1,18	0,249	n.s
% Grasa (b.s.)	-1,4532	0,7214	-2,01	0,053	*
% Fibra cruda(b.s.)	-1,748	3,916	-0,45	0,658	n.s

### Conclusión

- Con nivel de significación de 0,05; las variables (expresadas en porcentaje) Ceniza y Fibra cruda no son significativas, las demás variables resultaron ser significativas quieren decir que sus efectos son no nulos.
- Debido a que las variables (expresadas en porcentaje) Ceniza y Fibra Cruda no es significativas, se las retira del modelo y se volvió a regresionar con las variables que son estadísticamente significativas presentando el siguiente modelo.

### Segundo modelo:

$$H_a: \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_p: \text{Al menos un } \beta_j \neq 0$$

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión de la variable "Proteína Cruda"

$\beta_2$  = Coeficiente de regresión de la variable "Grasa en base seca"

**Cuadro 13. Análisis de Variancia Para la Evaluación de Significancia de Los Efectos en Conjunto de las Variables Predictoras con Respecto a la Variable Índice de Blancura en la escala CIE.**

Fuente de Variación	DF	SC	CM	F Calc	P-Value	Sig
Regresión	2	9885,7	4942,8	113,13	0,000	*
Error	33	1441,8	43,7			
Total	35	11327,5				

$$R^2 = 87,3\%$$

### Conclusiones

- Con un nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto se concluye que al menos uno de los coeficientes de regresión (efectos) es diferente de cero.
- El coeficiente de determinación nos indica que el 87,3% de la variabilidad de la variable Índice de Blancura en la escala CIE (expresada en porcentaje) está estadísticamente explicado por las variables independientes.

La Ecuación de regresión es:

**Índice de Blancura CIE (expresado en porcentaje) = 99,9 - 18,4 %  
Proteína cruda (b.s.) - 1,67 % Grasa (b.s.)**

**Cuadro 14. Prueba T de Evaluación de Significancia Individual de las Variables Predictoras**

Variables Predictoras	Coef	SE Coef	T	P-Value	Sig
Constant	99,901	2,056	48,58	0,000	*
% Proteína cruda (b.s.)	-18,362	2,256	-8,14	0,000	*
% Grasa (b.s.)	-1,6710	0,7137	-2,34	0,025	*

## **Conclusión**

Con nivel de significación de 0,05; existe suficiente evidencia estadística para afirmar que los dos coeficientes de regresión resultaron ser significativas, lo cual quiere decir que sus efectos son no nulos.

## **Interpretación de las variables predictoras:**

- Si la proteína cruda disminuye en 1,0%, el Índice de Blancura en la escala CIE aumentará en promedio aproximadamente en 18,4% manteniendo constante la variable grasa expresada en base seca.
- Si la grasa en base seca disminuye en 1,0%, el Índice de Blancura en la escala CIE aumentará en promedio aproximadamente en 1,67% manteniendo constante la variable Proteína Cruda.

**ANEXO L**  
**DETERMINACIÓN DE AGRUPAMIENTOS DE LOS REGISTROS DE LAS**  
**VARIABLES (EXPRESADAS EN PORCENTAJE) PUREZA, INDICE DE**  
**BLANCURA EN LAS ESCALAS HUNTER Y CIE.**

**L.1. ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE LAS VARIABLES**  
**(EXPRESADAS EN PORCENTAJE) PUREZA Y INDICE DE BLANCURA**  
**EN LA ESCALA HUNTER**

Los registros de las variables (expresadas en porcentaje) Pureza y el índice de Blancura en la escala Hunter fueron mostrados en los Cuadros VI y VIII, con esta información se establece agrupamientos que permiten la clasificación en tres grupos con el fin de poder realizar comparaciones posteriores.

**Cuadro 1. Matriz de Correlación de Pearson**

	<b>% Blancura Hunter</b>	<b>% Pureza</b>	<b>% Proteína Cruda</b>	<b>% Ceniza</b>	<b>% Grasa</b>
<b>% Pureza</b>	0,884 0,000				
<b>% Proteína Cruda</b>	-0,927 0,000	-0,866 0,000			
<b>% Ceniza</b>	-0,835 0,000	-0,810 0,000	0,839 0,000		
<b>% Grasa</b>	-0,792 0,000	-0,971 0,000	0,746 0,000	0,691 0,000	
<b>% Fibra Cruda</b>	-0,649 0,000	-0,678 0,000	0,627 0,000	0,717 0,000	0,541 0,001

### Interpretaciones de los resultados del Cuadro 1.

Con respecto a la variable Pureza (expresada en porcentaje) registra un coeficiente de correlación de 0,884 con la variable Índice de Blancura en la escala Hunter, quiere decir que existe una relación lineal positiva. El valor de P-value que se encuentra debajo del valor de la correlación de Pearson es menor que el nuestro nivel de significación (0,05); se concluye que el grado de asociación es significativo.

Con respecto a la variable Proteína Cruda se registra un coeficiente de correlación de -0,927 con la variable Índice de Blancura Hunter (%) y de -0,866 con la variable % Pureza, quiere decir que existe una relación lineal negativa con esas dos variables. El valor de P-value que se encuentra debajo de los valores de cada una de las correlaciones de Pearson son menores que el nivel de significación (0,05); se concluye que ambos grados de asociaciones son significativas.

Con respecto a la variable porcentaje de Ceniza se registra un coeficiente de correlación de -0,835 con la variable Índice de Blancura en la escala Hunter, -0,810 con la variable Pureza (expresada en porcentaje), y de 0,839 con la variable Proteína Cruda, quiere decir que existe una relación lineal negativa con las dos primeras variables y una relación lineal positiva con la variable Proteína Cruda. El valor de P-value que se encuentra debajo de los valores de cada una de las correlaciones de Pearson son menores que el nivel de significación (0,05); se concluye que los grados de asociaciones son significativas.

Con respecto a la variable porcentaje de Grasa se registra un coeficiente de correlación de -0,792 con la variable Índice de Blancura Hunter (%), -0,971 con la variable Pureza, 0,746 con la variable Proteína Cruda y de 0,691 con la variable Ceniza, quiere decir que existe una relación lineal negativa con las dos primeras variables y una relación lineal positiva con las

otras dos variables. El valor de P-value que se encuentra debajo de los valores de cada una de las correlaciones de Pearson son menores que el nivel de significación (0,05); se concluye que los grados de asociaciones son significativas.

Con respecto a la variable porcentaje de Fibra Cruda se registra un coeficiente de correlación de -0,649 con la variable Índice de Blancura en la escala Hunter, -0,678 con la variable Pureza; 0,627 con la variable Proteína Cruda; 0,717 con la variable Ceniza y de 0,541 con la variable Grasa, quiere decir que existe una relación lineal negativa con las dos primeras variables y una relación lineal positiva con las otras tres variables. El valor de P-value que se encuentra debajo de los valores de cada una de las correlaciones de Pearson son menores que el nivel de significación (0,05); se concluye que los grados de asociaciones son significativas.

### L.1.1 Análisis de conglomerado para el Índice de Blancura en la escala Hunter (expresado en porcentaje)

**Cuadro 2. Análisis de agrupamientos**

Partición final. Número de Conglomerados : 3	Número de observaciones	Suma de Cuadrado del Conglomerado	Distancia promedio desde el centroide	Máxima distancia promedio desde el centroide
Conglomerado1	6	122,777	4,33286	6,83902
Conglomerado2	26	130,748	1,81659	6,78851
Conglomerado3	4	28,583	2,67230	2,74791

La similaridad es un indicador que esta en función a la distancia euclidiana de aglomeración pero es inversamente proporcional, quiere decir que a menor distancia euclidiana mayor nivel de similaridad porcentual, caso contrario a mayor distancia se registra menor nivel de similaridad porcentual.

### L.1.2 Análisis de conglomerado para la Variable Pureza (expresado en porcentaje)

Información transferida al texto de la presente tesis.

### L.2. ANÁLISIS DE CONGLOMERADO DEL ÍNDICE DE BLANCURA EN LA ESCALA CIE.

**Cuadro 3. Matriz de Correlación de Pearson**

	% Blancura CIE	% Pureza	% Proteína Cruda	% Ceniza	% Grasa
% Pureza	0,879 0,000				
% Proteína Cruda	-0,923 0,000	-0,866 0,000			
% Ceniza	-0,838 0,000	-0,810 0,000	0,839 0,000		
% Grasa	-0,786 0,000	-0,971 0,000	0,746 0,000	0,691 0,000	
% Fibra Cruda	-0,645 0,000	-0,678 0,000	0,627 0,000	0,717 0,000	0,541 0,001

#### Interpretaciones de los resultados del Cuadro 3.

Con respecto a la variable Pureza se registra un coeficiente de correlación de 0,879 con la variable Índice de Blancura en la escala CIE, quiere decir que existe una relación lineal positiva. El valor de P-value que se encuentra debajo del valor de la correlación de Pearson es menor que el nuestro nivel

de significación (0,05); se concluye que el grado de asociación es significativa.

Con respecto a la variable Proteína Cruda se registra un coeficiente de correlación de -0,923 con la variable Índice de Blancura en la escala CIE y de -0,866 con la variable Pureza (expresada en porcentaje), quiere decir que existe una relación lineal negativa con esas dos variables. El valor de P-value que se encuentra debajo de los valores de cada una de las correlaciones de Pearson son menores que el nivel de significación (0,05); se concluye que ambos grados de asociaciones son significativas.

Con respecto a la variable porcentaje de Ceniza se registra un coeficiente de correlación de -0,838 con la variable Índice de Blancura en la escala CIE, -0,810 con la variable Pureza, y de 0,839 con la variable Proteína Cruda, quiere decir que existe una relación lineal negativa con las dos primeras variables y una relación lineal positiva con la variable Proteína Cruda. El valor de P-value que se encuentra debajo de los valores de cada una de las correlaciones de Pearson son menores que el nivel de significación (0,05); se concluye que los grados de asociaciones son significativas.

Con respecto a la variable porcentaje de Grasa se registra un coeficiente de correlación de -0,786 con la variable Índice de Blancura en la escala CIE; -0,971 con la variable Pureza (expresada en porcentaje); 0,746 con la variable Proteína Cruda y de 0,691 con la variable Ceniza, quiere decir que existe una relación lineal negativa con las dos primeras variables y una relación lineal positiva con las otras dos variables. El valor de P-value que se encuentra debajo de los valores de cada una de las correlaciones de Pearson son menores que el nivel de significación (0,05); se concluye que los grados de asociaciones son significativas.

Con respecto a la variable porcentaje de Fibra Cruda se registra un coeficiente de correlación de -0,645 con la variable Blancura CIE; -0,678

con la variable Pureza; 0,627 con la variable Proteína Cruda; 0,717 con la variables Ceniza y de 0,541 con la variable % Grasa, quiere decir que existe una relacion lineal negativa con las dos primeras variables y una relación lineal positiva con las otras tres variables. El valor de P-value que se encuentra debajo de los valores de cada una de las correlaciones de Pearson son menores que el nivel de significación (0,05); se concluye que los grados de asociaciones son significativas.

**Cuadro 4. Análisis de agrupamientos**

Partición final. Número de Conglomerados: 3	Número de observaciones	Suma de cuadrados del conglomerado	Distancia promedio del centroide	Máxima distancia promedio del centroide
Conglomerado 1	6	254,523	6,05976	10,5038
Conglomerado 2	26	365,926	2,98960	11,0759
Conglomerado 3	4	32,484	2,84491	3,0204