

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRICIONAL Y MORFOLOGÍA DEL GRANO DE VARIEDADES AMARGAS DE QUINUA BENEFICIADAS EN SECO, MEDIANTE EL NOVEDOSO EMPLEO DE UN REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO DE TIPO SURTIDOR

Carla Quiroga Ledezma* y Ramiro Escalera Vásquez**

*Centro de Investigaciones Agrícolas y Agroindustriales Andinas – CIAAA

**Centro de Investigaciones en Procesos Industriales - CIPI

Universidad Privada Boliviana

ccquiroga@upb.edu

(Recibido el 10 de noviembre 2010, aceptado para publicación el 15 de noviembre 2010)

RESUMEN

La tecnología desarrollada para el beneficiado de variedades amargas de quinua en seco tiene per se varios beneficios respecto a las ofertas tecnológicas actuales: ahorro en el consumo de agua y recursos no renovables (gas), la no generación de efluentes contaminados con saponinas y la recuperación total de las saponinas. En este trabajo se evaluó la calidad de la quinua beneficiada, para ello, se realizaron pruebas experimentales en los equipos de laboratorio y prototipo piloto con 3 ecotipos de Quinua Real (Blanca, Amarilla y Rosada) de las zonas de Garcí Mendoza y Uyuni. Muestras de quinua fueron procesadas de acuerdo a un diseño experimental, evaluándose el efecto de las variables: ecotipo, diámetro de reactor, diámetro de boquilla y altura de lecho en el porcentaje de remoción de saponinas, la calidad nutritiva (porcentaje de proteína y materia grasa) y cambios en la morfología del grano procesado.

Los resultados muestran claramente que los factores preponderantes en la remoción de saponinas son el diámetro de reactor, el diámetro de la boquilla, seguido del ecotipo. Las condiciones óptimas de procesamiento se dan en los intervalos de 1,4 a 1,8 mm para el diámetro de boquilla y 7,5 a 12,5 cm para el diámetro de reactor y una altura de lecho de 12,5 cm, en estos intervalos los niveles del contenido de saponina en el grano están entre 0 y 0,02 %, niveles muy por debajo de lo que establece la Norma Boliviana NB NA 0038 (< 0,12 %). La calidad nutritiva de la quinua no sufre ningún deterioro, los porcentajes de proteína y materia grasa están por encima de los niveles mínimos establecidos en la norma anteriormente mencionada, > 10 % y > 4 % respectivamente, y tampoco hay signos de daños en la superficie de la microestructura del grano.

Por tanto, se puede concluir que la quinua beneficiada en el reactor de lecho fluidizado de tipo surtidor tiene una calidad igual o mejor a la quinua que ha sido escarificada, lavada y secada durante el beneficiado.

Palabras Clave: Quinua, Saponinas, Desaponificación, Reactor de Lecho Fluidizado de Tipo Surtidor.

1. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un pseudocereal con propiedades nutricionales importantes, por ejemplo, los granos de quinua tienen un nivel promedio de proteína de 14,6 %, valor mucho mayor a los valores de otros cereales como la avena, arroz, cebada, rico en aminoácidos esenciales como la histidina y lisina. El nivel promedio de lípidos está en 5,6 %, rico en ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico, γ -linolénico y antioxidantes como el α -tocoferol y γ -tocoferol. También tiene un promedio de carbohidratos del 61 %, almidón, además de algunos minerales como el calcio, fósforo, hierro [1], [2].

Los granos de quinua tienen formas diferentes: cónicos, cilíndricos y elipsoidales, tamaños por debajo de 2,6 mm de diámetro, y pueden ser de diferente color: blanco, amarillo, rosado, café, negro [3]. En este pseudocereal se puede identificar el endosperma (cotiledones y radícula), el perisperma (granos de almidón) y el episperma (capas externas que recubren la semilla).

Según algunos estudios, el episperma tiene las siguientes características [4], [5]:

- Una primera capa externa rugosa, quebradiza, seca. Esta capa puede ser parcialmente removida por métodos abrasivos y lavado con agua fría, mejorándose la remoción considerablemente cuando se utiliza agua caliente o soluciones alcalinas o ácidas. Las saponinas se encuentran localizadas solamente en la primera capa del episperma.
- Una segunda capa lisa, lustrosa, sin poros, con algunas huellas de la rugosidad vista en la primera membrana. Esta capa sólo puede ser removida después de un proceso de calentamiento (cocción) prolongado.
- Una tercera capa delgada ligeramente amarillenta y opaca.
- Una cuarta capa delgada, traslúcida que cubre el embrión, formada por una sola hilera de células de pared gruesa y sin núcleo.

Las saponinas son glicósidos en los cuales varias unidades de monosacáridos se enlazan mediante un enlace glicosídico a un resto denominado aglicón o sapogenina. El aglicón es de naturaleza triterpénica. Se clasifican de acuerdo al número de cadenas de azúcar en la estructura como mono, di, o tridesmosídicos. Las saponinas monodesmosídicas tienen una cadena de azúcar simple, normalmente localizada en el C-3. Las saponinas bidesmosídicas tienen dos cadenas de azúcar, una de ellas generalmente enlazada al C-3 a través de un enlace éter y la otra enlazada al C-18 o al C-26 través de un enlace éster. Los monosacáridos más comunes son la D-glucosa, D-galactosa, D-ácido glucorónico, D-ácido galacturónico, L-ramnosa, L-arabinosa, D-xilosa y D-fructosa. Son cuatro los aglicones que han sido identificados en las saponinas de quinua: ácido oleonólico, ácido fitolaccagénico, hederagenina, algunos autores indican el ácido serjanico como el cuarto aglicón y otros el ácido espergulagénico [2], [6], [8].

En las capas externas del episperma de los granos de quinua se han podido identificar 2 tipos principales de saponinas: Saponina A (β -D-glupiranosil-[β -D-glucopiranosil-(1 \rightarrow 3)]- α -L-arabino-piranosil-(1 \rightarrow 3)]-3- β -23-dihidroxil-12-eno-28-oato-metil ester) y la Saponina B (β -D-glupiranosil-[β -D-glucopiranosil-(1 \rightarrow 3)]- α -L-arabino-piranosil-(1 \rightarrow 3)]-3- β -23-dihidroxilolcan-12-eno-28-oato), de gran valor comercial [9].

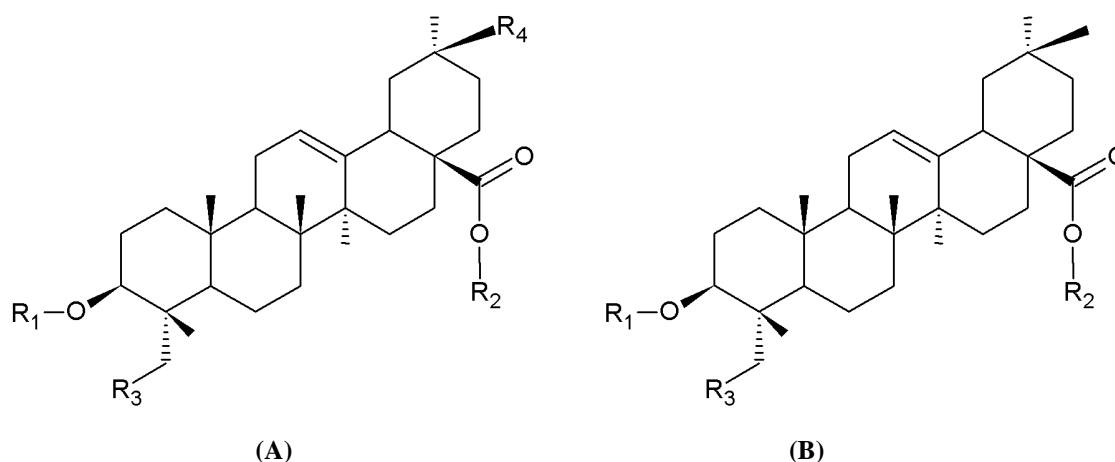


Figura 1 - Estructuras moleculares de las principales saponinas de la quinua (A) Saponina A y (B) Saponina B. R_1 = glucosa-arabinosa, R_2 = glucosa, R_3 = OH y R_4 = COOCH_3

El contenido de saponinas varía entre 0 – 3 % en granos secos, aunque se han reportado variedades con contenidos de saponina de hasta 4 %. Granos muy amargos se clasifican entre 1 y 3 %, granos de contenido medio entre 0,1 y 1 % y variedades dulces, de 0,0 a 0,1 % [10].

La presencia de este factor antinutricional ha conducido a la producción genética de variedades dulces, con contenidos de 0,00 a 0,12 % de saponinas, este último, el nivel más alto aceptable para el consumo humano de la quinua [11], [12]. Sin embargo, se ha constatado que estas variedades dulces se encuentran carentes de factores de protección contra microorganismos, insectos y aves, es muy difícil mantener su pureza varietal y brindan, en general, rendimientos bajos, de granos pequeños. A causa de esto, la atención al tratamiento agroindustrial de variedades amargas es más importante que la selección de nuevas variedades dulces, desde los años 1980 [13], [14].

Debido a la presencia de un aglicón liposoluble y una cadena de azúcar hidrosoluble en su estructura (naturaleza anfifílica), las saponinas son compuestos con superficie activa con propiedades detergentes, humectantes, emulsificantes y espumantes. Las propiedades fisicoquímica y biológica de las saponinas han sido ampliamente explotadas en un número de aplicaciones comerciales en el sector de alimentos, cosméticos, agrícola y farmacéutico [2]. Si bien a las saponinas aún se las considera factores antinutricionales, hay evidencias científicas de sus beneficios sobre la salud por sus propiedades anticancerígenas y de reducción del colesterol.

Las variedades y ecotipos de quinua que se comercializan en Bolivia tienen porcentajes elevados de saponina en el epispermo del grano, que debe ser eliminada antes de su comercialización. El proceso tradicional de desaponificación, que es por vía húmeda, demanda grandes cantidades de agua (5 - 14 m^3/TM de quinua procesada) y energía (> 130 kWh/TM de quinua procesada, especialmente en el secado), generando volúmenes considerables de efluentes contaminados con saponinas que se descargan sin tratamiento alguno al medio ambiente, contraviniendo así con la Ley del Medio Ambiente y sus Reglamentos.

A escala industrial el beneficiado se realiza en varias etapas, en la Figura 2A se muestran las principales etapas. Primero se remueven impurezas tales como piedrecillas, ramas, pajas, heces de aves y ratones, y otras; posteriormente, se escarifica la quinua pre-clasificada para remover parcialmente el episperma, la remoción no es completa para evitar la pérdida de material nutritivo durante la abrasión; para remover completamente el episperma, la quinua escarificada se lava, centrifuga y seca, los niveles de humedad al final del secado deben ser menor al 13,5 % para evitar la proliferación de microorganismos que deterioren la calidad del grano y pongan en riesgo la inocuidad del mismo; seguidamente, se retiran las impurezas que no fueron eliminadas en etapas anteriores y; finalmente, se envasa. A la fecha existen diferentes ofertas tecnológicas en el mercado, una de las mejores fue desarrollada por el Centro Promoción de Tecnologías Sostenibles – CPTS.

En el proceso propuesto, ver Figura 2B, la remoción del episperma de la quinua pre-clasificada se realiza en el reactor de lecho fluidizado de tipo surtidor desarrollado; posteriormente, la quinua desaponificada se esteriliza con radiación ultravioleta, para eliminar cualquier microorganismo presente en el grano; finalmente, la quinua clasificada se envasa.



Figura 2 - Proceso propuesto de beneficiado en seco en comparación con el proceso tradicional.

El beneficiado en seco mediante la aplicación de un reactor de lecho fluidizado de tipo surtidor, debe garantizar la calidad final del grano de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales. Estándares que cubren requisitos organolépticos, bromatológicos, microbiológicos, residuos de metales pesados y plaguicidas. En este trabajo de investigación se evaluó la calidad de los granos procesados en los reactores construidos, los parámetros que se evaluaron fueron el contenido de saponinas, proteína y materia grasa de los granos desaponificados así como su morfología.

2. METODOLOGIA

Primero, se caracterizaron las variedades y/o los ecotipos más importantes de las zonas de Oruro y Potosí en cuanto a sus propiedades nutricionales (proteínas y materia grasa), contenido de saponinas y morfología del grano.

Muestras de quinua fueron sometidas a diferentes condiciones de operación en los reactores construidos, escala laboratorio y escala prototipo piloto, de acuerdo a un diseño experimental elaborado con la ayuda del paquete estadístico, Statgraphics Centurión versión XV, cada factor a 2 niveles y una réplica por corrida (32 corridas y 12

corridas adicionales). En el diseño experimental se establecieron como variables el diámetro de boquilla, el diámetro de lecho, la altura de lecho y el ecotipo, el tiempo de procesamiento se fijó en 30 minutos de acuerdo a pruebas preliminares.

Las muestras procesadas fueron también caracterizadas y comparadas con muestras de quinua sin procesar, es decir, la materia prima que fue adquirida de empresas beneficiadoras de quinua de Salinas de Garci Mendoza y Uyuni, ecotipos: Real Blanca, Amarilla (K'ellu), Rosada (Pandela) y Anaranjada (Toledo). Además se compararon con muestras facilitadas por empresas beneficiadoras de Uyuni y El Alto, la tecnología empleada en estas empresas fue desarrollada en Oruro y La Paz respectivamente.

La determinación del porcentaje de materia grasa y análisis de la morfología del grano por microscopía electrónica de barrido, se realizaron en las muestras de quinua procesadas en las mejores condiciones de operación del reactor, es decir, en aquellas condiciones donde la remoción de saponina fue total según el método afrosimétrico.

Para la identificación de los métodos de análisis de los parámetros mencionados, se revisaron normas internacionales, normas bolivianas y artículos científicos. A continuación se describen los métodos utilizados.

2.1. Determinación del Contenido de Saponina – Método de la Espuma

Se usó saponina estándar de concentración conocida, extraída de las variedades de *Chenopodium*, facilitada por la Universidad Mayor de San Andrés. Para la determinación del contenido de saponina se usó el Método de la Espuma, Norma Boliviana NB 683 [15].

Se pesaron en tubos de ensayo 0,5 g de Quinua y se añadieron 20 mL de agua destilada y se agitó de manera continua por un lapso de 1 min, posteriormente, se dejó en reposo por un lapso de 15 min y, finalmente, se procedió a medir la altura de la espuma formada con la ayuda de una regla milimétrica.

En base a una curva de calibración, altura de la espuma [mm] versus concentración de saponina en la solución [g/L], se calculó la cantidad de saponina en los granos.

Las determinaciones del contenido de saponina se realizaron por duplicado.

2.2. Determinación del Contenido de Proteína

Se usaron reactivos químicos (grado analítico). El sulfato de sodio, sulfato de cobre, ácido sulfúrico, hidróxido de sodio, rojo de metilo, fosfato de amonio diácido y urea fueron comprados de Sigma-Aldrich. La normalidad de la solución de hidróxido de sodio fue verificada por el método normalizado de ftalato ácido de potasio (Método Oficial 036.16 de la AOAC), también comprado de Sigma-Aldrich.

Para la determinación del contenido de proteína, se utilizó el Método Oficial 984.13 de la AOAC que es el Método de Kjeldahl con catalizador de cobre [16].

Las muestras de quinua fueron molidas en un mortero de porcelana y se pesó una muestra homogénea de 0,1 g de quinua molida, a la que se añadió 0,01 g de sulfato de cobre y 3,75 g de sulfato de potasio. La mezcla se introdujo en un balón al que se añadió 5 mL de ácido sulfúrico concentrado y se calentó en un manta calefactora hasta la digestión completa de la muestra, 1 hora aproximadamente, se añadió una cantidad de agua y se alcalinizó la solución, para posteriormente destilar la solución. Los gases se recogieron en una solución de ácido sulfúrico de concentración conocida, al que se añadió gotas del indicador rojo de metilo, después de la destilación esta solución fue titulada con hidróxido de sodio para calcular la cantidad de ácido sulfúrico consumido durante la destilación.

Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de nitrógeno y posteriormente se calculó el porcentaje de proteína en las muestras de quinua.

Las determinaciones del contenido de proteína corresponden a una sola medida.

2.3. Determinación del Contenido de Materia Grasa (Lípidos)

El éter etílico de grado analítico fue comprado de Sigma-Aldrich.

Para la determinación del contenido de materia grasa (lípidos) se utilizó el Método descrito en la Norma Boliviana NB 312027.

Las muestras de quinua fueron molidas en un mortero de porcelana, se pesó 3 g de quinua molida en papel filtro que fue doblado en forma de cartucho, posteriormente, el cartucho de papel con la muestra se introdujo en el extractor Soxhlet, adicionándose al balón colector del equipo 200 mL de solvente y se realizó la extracción por 5 horas, controlando la velocidad de reflujo y el volumen del solvente.

El extracto obtenido en el balón de recolección se llevó a una estufa a 100 °C por 45 minutos, hasta peso constante, se enfrió y, finalmente, se pesó para calcular el contenido de materia grasa en las muestras [17].

Las determinaciones del contenido de materia grasa corresponden a una sola medida.

2.4. Análisis Morfología de los Granos

Los granos fueron observados en un Estereomicroscopio Binocular, Olympus 4R0185 (Olympus, Japón), que tenía una cámara fotográfica acoplada a uno de los binoculares. Los granos fueron examinados a diferentes aumentos. Se identificaron las impurezas en la muestra analizada, granos deformes y cambios en la estructura de los granos.

También, con la ayuda de un estereomicroscopio y un bisturí, se hicieron cortes transversales a los granos de quinua que fueron tomados al azar. Los granos cortados fueron montados en un porta muestras para posteriormente ser recubiertos con una capa delgada de oro a fin de que los granos se vuelvan conductores.

Las muestras recubiertas de oro fueron introducidas a la cámara de un Microscopio Electrónico de Barrido, JEOL Modelo JSM 6480 LV (JEOL, Japón), provisto de sensores de electrones secundarios y retrodifundidos de alto y bajo vacío, que operó a 20 kV.

Se tomaron fotos completas de los medios granos y secciones específicas del mismo, perisperma y, principalmente, episperma, a diferentes aumentos.

Se analizaron los resultados de los diferentes parámetros mediante el análisis de varianza ANOVA multifactorial para los cuatro factores considerados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de la Calidad de las Muestras de Quinua Sometidas a Diferentes Condiciones de Procesamiento

El porcentaje de saponina en la materia prima de los ecotipos de Quinua Real Blanca, Amarilla y Rosada es bastante alto, niveles por encima de los valores aceptados por el consumidor (< 0,12 % de saponina) y corresponden a valores que las categorizan como quinua amarga, ver Tablas 1 y 2. El ecotipo de Quinua Real Rosada es la que tiene mayor porcentaje de saponina, seguida del ecotipo de Quinua Real Amarilla.

TABLA 1 - CONTENIDO DE SAPONINA Y PROTEÍNA EN MUESTRAS DE QUINUA SIN PROCESAR (MATERIA PRIMA)

Ecotipo	Porcentaje Saponinas [%]	Porcentaje Proteínas [%]
Blanca	0,27	10,49
Amarilla	0,35	10,08
Rosada	0,84	13,58

Para evaluar el desarrollo del proceso de remoción de la saponina, se procesaron muestras de quinua a diferentes tiempos de procesamiento. Las muestras tratadas después de 20 min aún tienen contenidos de saponina por encima de 0,12 %. Se observa que el proceso de desaponificación es más rápido en el ecotipo Real Rosada, considerando que los niveles de saponina al inicio son mucho más altos que el del ecotipo Real Blanca.

TABLA 2 - CONTENIDO DE SAPONINAS, PROTEÍNAS Y MATERIA GRASA EN MUESTRAS DE QUINUA REAL SIN PROCESAR (MATERIA PRIMA)

Ecotipo	Porcentaje Saponinas [%]	Porcentaje Proteínas (*) [%]	Porcentaje Materia Grasa (*) [%]
Blanca	0,21	10,69	7,19
Amarilla	0,25	12,84	5,73
Rosada	0,27	11,43	5,54

(*) Resultados obtenidos por el Laboratorio del Centro de Alimentos y Productos Naturales de la UMSS.

El porcentaje de saponina de más de un 60 % de las muestras procesadas, de acuerdo al primer diseño experimental (32 muestras), están por debajo de 0,12 %. Muestras adicionales procesadas en las mejores condiciones de operación (Diámetro Lecho = 7,5 cm, Diámetro Boquilla = 1,4 mm, Altura Lecho = 12,5 y 7,5 cm), segundo diseño experimental (12 muestras), muestran niveles por debajo de 0,12 %.

El porcentaje de saponina de más de un 60 % de las muestras procesadas, de acuerdo al primer diseño experimental (32 muestras), están por debajo de 0,12 %. Muestras adicionales procesadas en las mejores condiciones de operación (Diámetro Lecho = 7,5 cm, Diámetro Boquilla = 1,4 mm, Altura Lecho = 12,5 y 7,5 cm), segundo diseño experimental (12 muestras), muestran niveles por debajo de 0,12 %.

Las muestras con niveles altos de saponina corresponden a aquellas que se procesaron en el reactor grande y se usó la boquilla de mayor diámetro (3,4 mm). Las muestras con menor contenido de saponina, trazas de espuma, corresponde a las muestras que fueron procesadas en el reactor pequeño, si bien la mayoría corresponde a aquellas en las que se usó la boquilla de menor diámetro (1,4 mm) también hay algunas muestras que fueron procesadas con la boquilla de mayor diámetro.

La Real Blanca tiene el nivel más bajo de proteína en comparación con los otros 2 ecotipos de Quinoa Real, aunque tiene el nivel más alto de materia grasa, Tablas 1 y 2.

Los valores del contenido de proteína en las muestras de quinua procesadas a diferentes condiciones de operación se pueden ver en las Tablas 3 y 4. Las muestras que fueron procesadas en el reactor grande, usando la boquilla de mayor diámetro, muestran niveles altos de proteína a diferencia de aquellas que fueron tratadas en el reactor pequeño, usando la boquilla de menor diámetro.

Los niveles de proteína de las muestras procesadas están por encima de los niveles de las muestras sin procesar, materia prima (Tablas 1 - 4).

Aunque, todas las muestras de quinua procesadas en los reactores de lecho fluidizado fueron desaponificadas, algunas hasta niveles de saponina por debajo de los niveles de aceptación del consumidor, sin alteraciones considerables en la morfología y valor nutricional de las mismas, el proceso de desaponificación no es homogéneo cuando las muestras se tratan en el reactor grande, usando la boquilla de mayor diámetro (3,4 mm). Por el contrario, muestras tratadas en el reactor pequeño, usando boquillas de menor diámetro (1,4 mm), tienen una mejor remoción de saponina y del episperma, llegando a niveles de saponina por debajo de 0,12 %, por lo que el tiempo de procesamiento podría ser menor a 30 min (Figuras 3A, 3B, 3C y 4).

Las variables de proceso estudiadas si tienen un efecto en la eficiencia de remoción de la capa externa de la quinua, las de mayor efecto son las variables: diámetro de reactor, diámetro de boquilla y ecotipo de quinua.

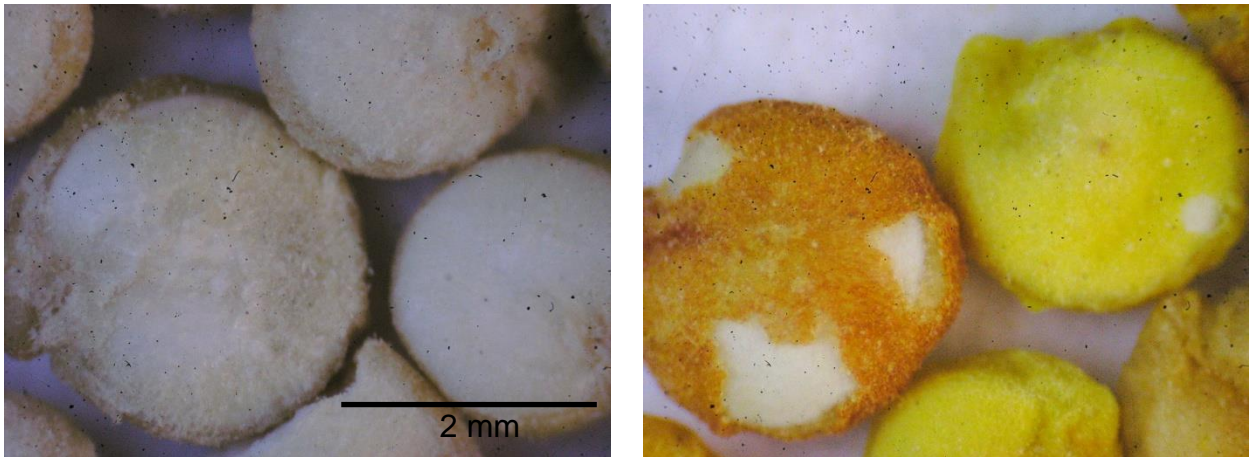


Figura 3A - Micrografías de Quinoa Real Blanca y Amarilla sin procesar

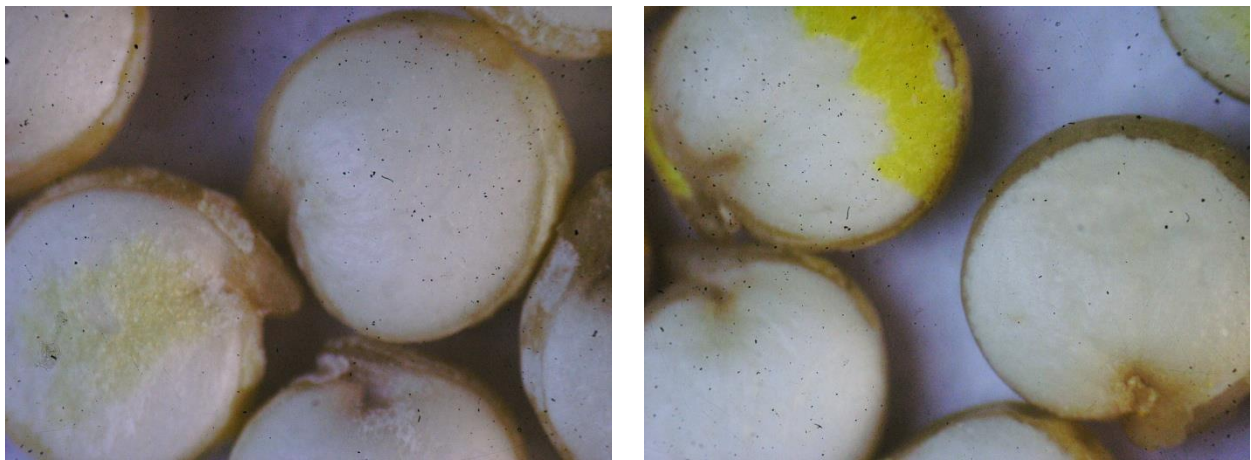


Figura 3B - Micrografías de quinua procesadas por un tiempo de 30 min: Real Blanca (Diámetro de Boquilla: 3,4 mm, Altura de Lecho: 12,5, Reactor: Grande) y Amarilla (Diámetro de Boquilla: 3,4 mm, Altura de Lecho: 7,5, Reactor: Grande).

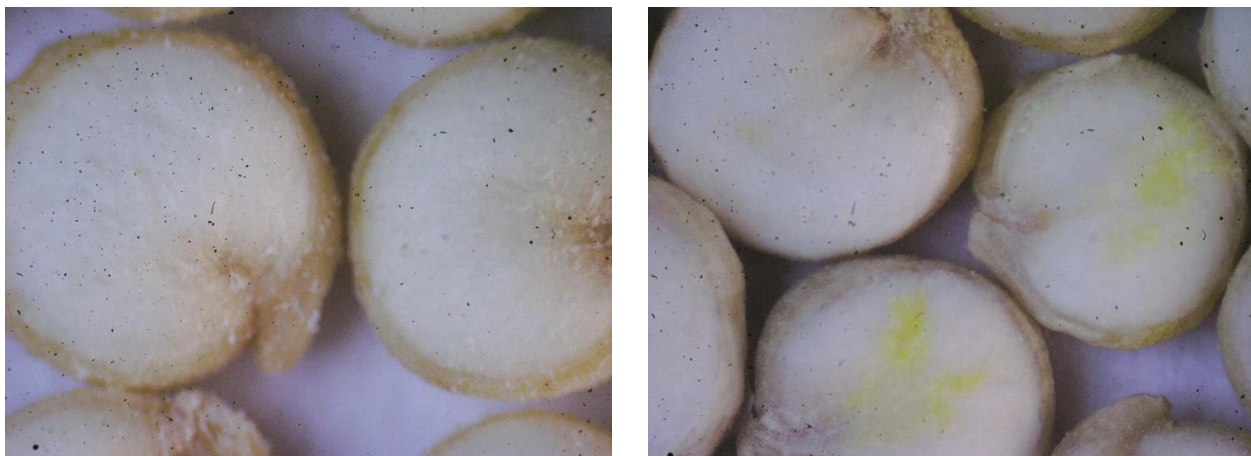


Figura 3C - Micrografías de quinua procesadas por 30 min, Diámetro de Boquilla: 1,4 mm, Altura de Lecho: 12,5cm: Real Blanca (Reactor: Pequeño) y Amarilla (Reactor: Grande).

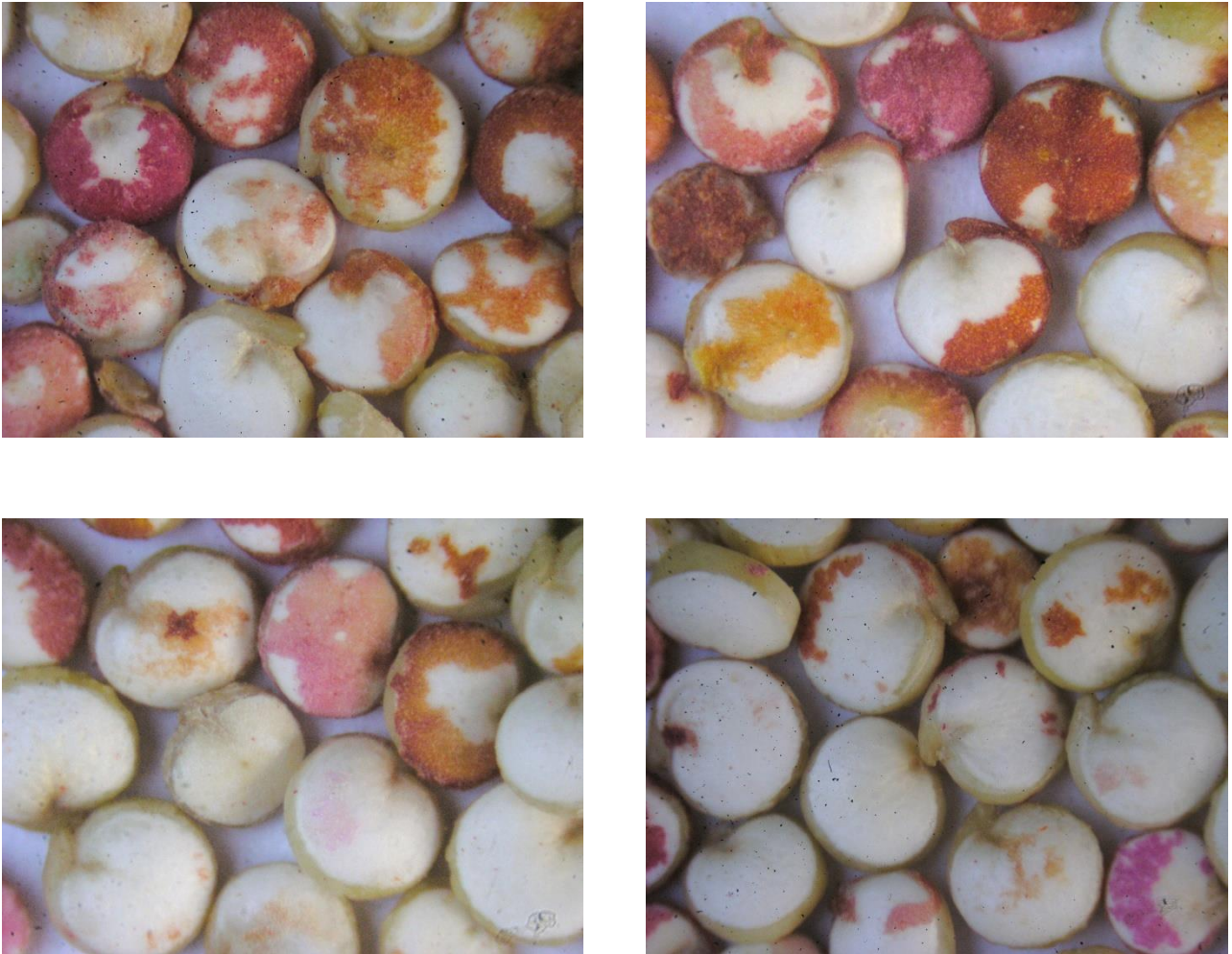


Figura 4 - Micrografías evolución remoción capa externa en los granos de Quinoa Rosada a 5, 10, 15 y 20 min (Diámetro de Boquilla: 1,4 mm, Altura de Lecho: 7,5 cm, Reactor: Grande).

En las Tablas 3 y 4 se incluye información adicional sobre las mediciones de flujo, masas de quinua cruda y quinua desaponificada, porcentaje de pérdidas de masa en el proceso que serán discutidas más adelante.

TABLA 3 - CONTENIDO DE SAPONINA Y PROTEÍNA EN MUESTRAS DE QUINUA SOMETIDAS A DIFERENTES CONDICIONES DE PROCESAMIENTO.

Corrida N°	Ecotipo	Diámetro Boquilla [mm]	Altura Lecho [cm]	Diámetro Lecho [cm]	Masa [kg]	Masa Residual [kg]	Porcentaje Perdidas [%]	Porcentaje Saponina Grano [%]	Porcentaje Remoción Saponinas [%]	Porcentaje Proteína Grano [%]
1	Blanca Real	1,4	12,5	7,5	0,350	0,324	7,44	0,006	97,98	13,46
2	Blanca Real	3,4	7,5	7,5	0,190	0,181	4,84	0,128	53,00	12,21
3	Amarilla	3,4	12,5	20	1,450	1,373	5,30	0,114	67,89	11,84
4	Blanca Real	3,4	7,5	20	0,440	0,420	4,45	0,083	69,66	12,72
5	Blanca Real	3,4	12,5	20	1,450	1,279	11,82	0,095	65,16	11,83
6	Blanca Real	3,4	12,5	7,5	0,350	0,317	9,46	0,123	54,94	11,83
7	Amarilla	1,4	12,5	7,5	0,350	0,326	7,00	0,006	98,44	12,27
8	Blanca Real	1,4	12,5	20	1,450	1,378	5,00	0,091	66,87	10,47
9	Blanca Real	1,4	7,5	7,5	0,190	0,174	8,22	0,006	97,98	8,81
10	Blanca Real	3,4	7,5	7,5	0,190	0,180	5,02	0,081	70,31	12,18
11	Amarilla	1,4	7,5	20	0,440	0,413	6,20	0,133	62,49	12,21
12	Amarilla	1,4	7,5	7,5	0,190	0,178	6,52	0,010	97,10	12,02
13	Blanca Real	1,4	7,5	20	0,440	0,421	4,41	0,157	42,63	15,51
14	Amarilla	3,4	7,5	20	0,440	0,418	5,07	0,171	51,71	12,20
15	Blanca Real	1,4	12,5	20	1,450	1,390	4,11	0,114	58,27	12,15
16	Amarilla	3,4	7,5	7,5	0,190	0,180	5,23	0,199	43,77	13,02
17	Amarilla	1,4	7,5	20	0,440	0,398	9,62	0,218	38,40	13,74
18	Amarilla	3,4	12,5	7,5	0,350	0,331	5,40	0,109	59,97	11,75
19	Blanca Real	1,4	12,5	7,5	0,350	0,327	6,66	0,006	97,98	11,63
20	Amarilla	1,4	12,5	7,5	0,350	0,326	6,76	0,006	98,44	11,89
21	Amarilla	1,4	12,5	20	1,450	1,370	5,53	0,086	75,78	12,12
22	Amarilla	3,4	12,5	20	1,450	1,377	5,06	0,166	53,26	14,66
23	Amarilla	3,4	7,5	20	0,440	0,414	5,94	0,165	53,40	12,13
24	Blanca Real	3,4	7,5	20	0,440	0,419	4,69	0,114	58,39	15,57
25	Amarilla	1,4	7,5	7,5	0,190	0,178	6,47	0,062	82,48	11,26
26	Amarilla	1,4	12,5	20	1,450	1,376	5,09	0,123	65,30	12,63
27	Blanca Real	1,4	7,5	20	0,440	0,418	4,89	0,119	56,48	12,61
28	Amarilla	3,4	7,5	7,5	0,190	0,179	5,53	0,161	54,74	15,57
29	Amarilla	3,4	12,5	7,5	0,350	0,328	6,30	0,180	49,22	15,55
30	Blanca Real	3,4	12,5	20	1,450	1,380	4,83	0,142	48,11	13,00
31	Blanca Real	1,4	7,5	7,5	0,190	0,179	5,65	0,006	97,97	11,89
32	Blanca Real	3,4	12,5	7,5	0,350	0,329	6,11	0,006	97,98	11,91

TABLA 4 - CONTENIDO DE SAPONINA, PROTEÍNA Y MATERIA GRASA EN MUESTRAS DE QUINUA SOMETIDAS A DIFERENTES CONDICIONES DE PROCESAMIENTO, MUESTRAS ADICIONALES

Corrida N°	Ecotipo	Altura Lecho [cm]	Porcentaje Saponinas Grano [%]	Porcentaje Proteínas Grano [%]	Porcentaje Materia Grasa Grano [%]	Porcentaje Remoción Saponinas [%]	Porcentaje Pérdida Masa [%]
1	Amarilla	7,5	0,107			57,20%	5,54%
2	Amarilla	7,5	0,086	13,72	5,89	65,73%	5,95%
3	Blanca	7,5	0,074			64,84%	5,54%
4	Blanca	7,5	0,076	11,59	7,52	63,65%	5,23%
5	Blanca	7,5	0,095			54,67%	5,04%
6	Amarilla	12,5	0,029			88,36%	7,01%
7	Amarilla	7,5	0,133			46,80%	5,64%
8	Blanca	12,5	0,006			97,37%	6,07%
9	Amarilla	12,5	0,029	13,08	6,00	88,35%	6,25%
10	Blanca	12,5	0,006	10,93	7,07	97,36%	6,07%
11	Blanca	12,5	0,006			97,36%	6,09%
12	Amarilla	12,5	0,015			94,00%	6,53%

La remoción del episperma se evaluó con la ayuda de un microscopio de alta resolución, *Scanning Electron Microscope* – SEM, en granos de quinua procesados y sin procesar cortados transversalmente. En las micrografías, Figura 5, se puede observar claramente el endosperma con sus dos cotiledones y la radícula, el perisperma exhibiendo los gránulos de almidón y el episperma mostrando sus capas.

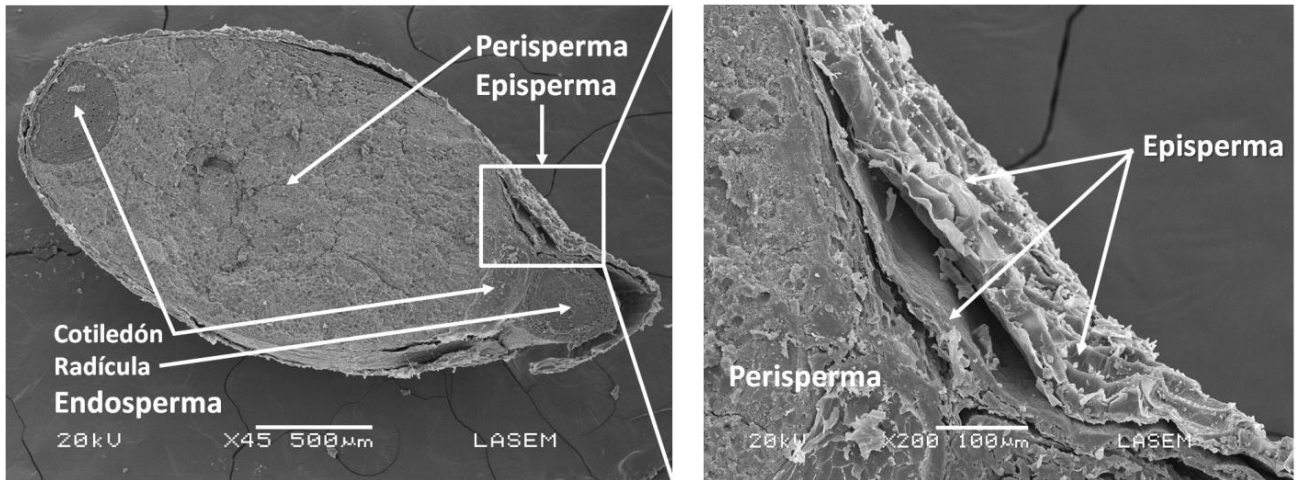


Figura 5 - Micrografía SEM, se observa el Endosperma (cotiledones y radícula), Perisperma y Episperma de un grano de quinua ecotipo Blanca Real.

En todas las muestras de quinua se observa claramente cómo el episperma recubre el grano de quinua. En granos sin procesar el espesor del episperma varía desde 20 μm en la parte central de las caras hasta más de 100 μm en los extremos, cerca al embrión. La capa más externa del episperma es la de mayor espesor. Esta capa puede fragmentarse ligeramente durante el proceso de manipulación de la materia prima, su remoción es efectiva sólo a través de procesos físicos o químicos.

En los procesos tradicionales donde se realiza el escarificado, la remoción del episperma es parcial y heterogénea, ver Figura 6A, con riesgo a dañar el embrión o incluso rasgar el perisperma con pérdida de su calidad nutritiva por la disminución en el contenido de proteína, lípidos y carbohidratos en el grano de quinua.

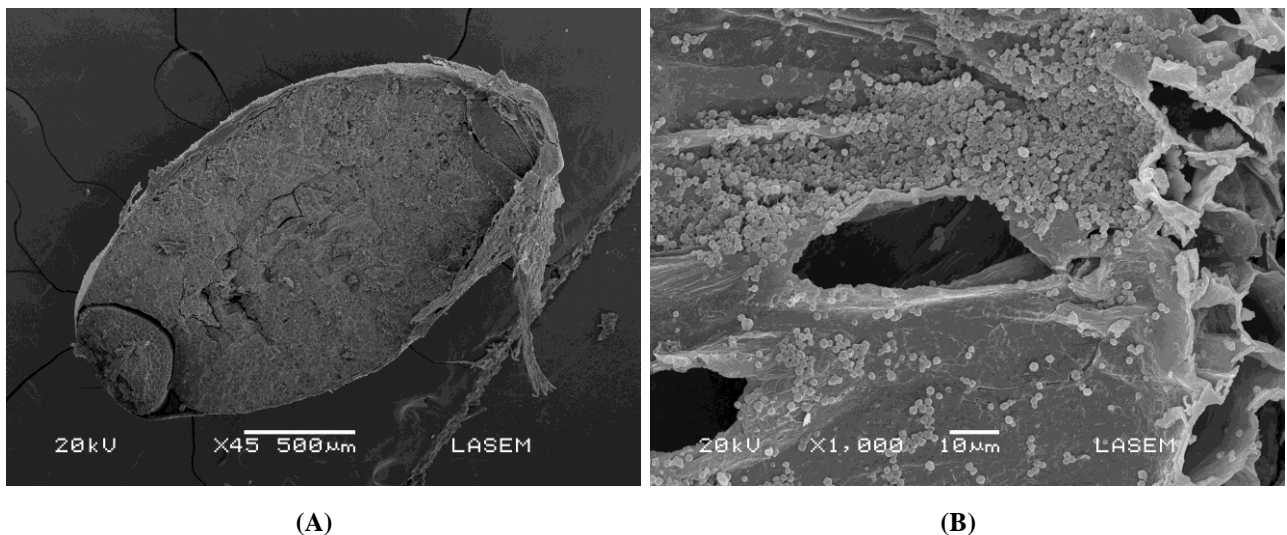


Figura 6- Micrografía SEM, (A) Grano escarificado y (B) Capas del episperma removidas después del escarificado (Cascarilla)

Los remantes de las capas externas del grano escarificado se eliminan con la ayuda de agua (lavado y posterior secado) y fricción entre granos al introducirse aire (venteo) al final del proceso. En las micrografías SEM de las capas externas removidas, Figura 6B, y algunas pruebas en laboratorio en suspensiones preparadas con el polvo de saponina, se observa presencia de almidón empacados en los intersticios de las capas.

Durante el procesamiento de los granos de quinua en el reactor de lecho fluidizado tipo surtidor, la remoción de las capas externas del episperma es bastante homogénea, obteniéndose granos con un espesor final de episperma (capas internas del episperma) similares a las obtenidas usando el proceso tradicional (beneficiado en húmedo), en la Figura 7 se puede ver que el espesor remanente del episperma es menor a 10 μm . También se pudo observar que los granos beneficiados en seco tienen una mejor apariencia externa, es decir, no presentan daños morfológicos externos y la superficie del episperma al final del proceso es bastante regular y lisa. Además del análisis micrográfico de los granos beneficiados en seco, éstos fueron sometidos a procesos físicos, es decir, con la ayuda de un estereomicroscopio y una aguja fina se rayó la superficie de los granos de quinua a fin de verificar si existían restos de las capas externas del episperma (cascarilla), no se evidenció la presencia de restos de las capas externas.

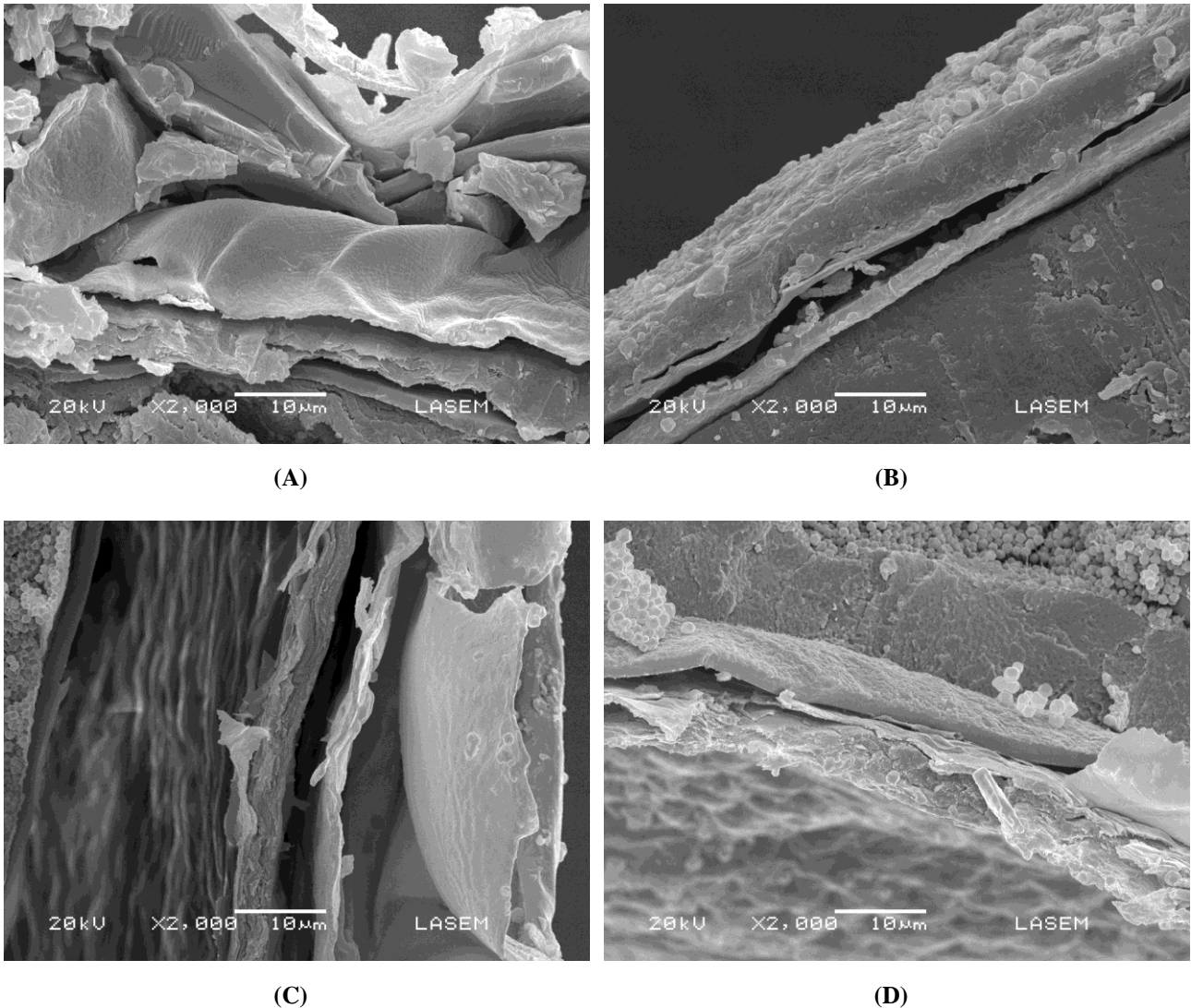


Figura 7- Micrografía SEM, (A) Quinoa Real Blanca sin procesar, (B) Quinoa Real Blanca beneficiada en seco (C) Quinoa Real producto terminado, empresa Oruro (D) Quinoa Real producto terminado, empresa La Paz.

Las micrografías presentadas en este trabajo corresponden a muestras de quinua procesadas durante 30 min, sin embargo, se procesaron algunas muestras a mayores tiempos para evaluar el efecto del mismo sobre la remoción del episperma. Se evidenció una remoción del episperma, disminución del espesor del episperma, mínima a tiempos mayores, en la Figura 8 se puede observar una muestra procesada a 30 min y otra a 60 min, sin diferencias significativas entre ellas, ambas muestras reportaron niveles de saponina por debajo de los 0.01 %.

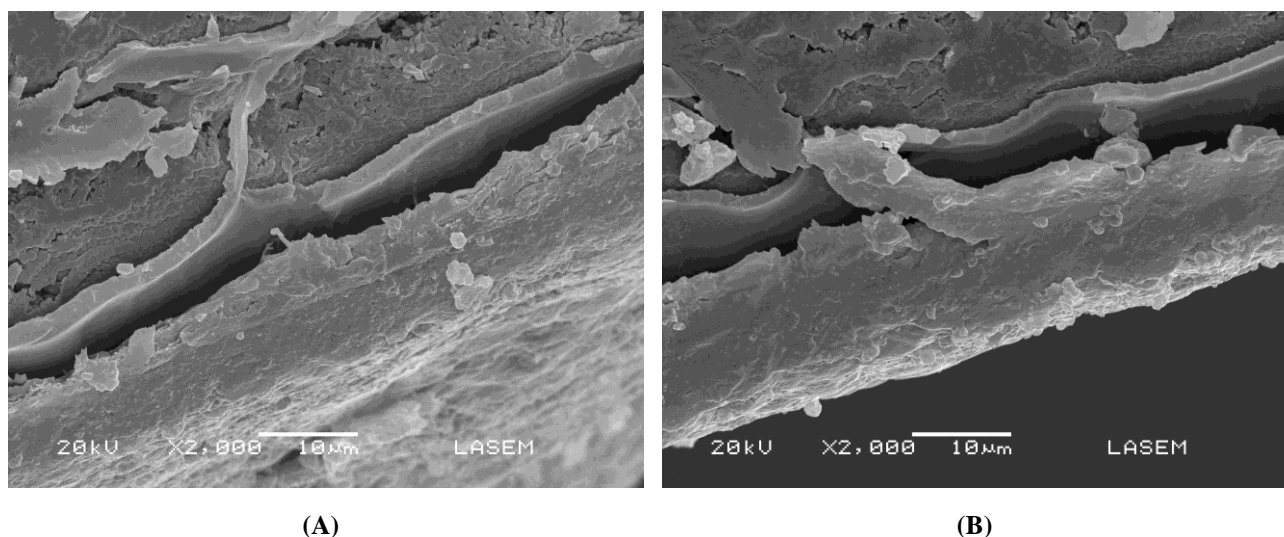


Figura 8- Micrográficas SEM de la Quinoa Real Rosada de Uyuni (A) 30 min de procesamiento y (B) 60 min de procesamiento.

También se evidenció que la quinua beneficiada con tecnología del CPTS tiene una mejor calidad de grano que las quinuas beneficiadas con otra tecnología. Los granos de almidón de las quinuas beneficiadas en húmedo muestran signos de haber sufrido un cambio estructural en su morfología, se observó que los granos de almidón sufrieron un incremento de tamaño y deformaciones en la superficie, en cambio en el grano de almidón de las quinuas beneficiadas en seco mostraron aristas que están bien definidas. El tamaño del grano de almidón está entre 0,5 y 2 μm .

4. CONCLUSIONES

A continuación las principales conclusiones de este trabajo de investigación:

- Los ecotipos de Quinoa Real usados en este estudio corresponden al tipo de quinuas catalogadas como quinuas amargas por el alto contenido de saponinas (0,2 – 0,8 %). Estos niveles de saponinas disminuyeron considerablemente (0 - 0,02%) en los intervalos de 1,4 a 1,8 mm para el diámetro de boquilla y 7,5 a 12,5 cm para el diámetro de lecho y una altura de lecho de 12,5 cm. Por consiguiente, para el diseño del prototipo piloto se tomaron en cuenta estos rangos de valores.
- Todos los ecotipos tratados alcanzaron contenidos de saponinas menores al valor de aceptación del consumidor (< 0,12%) a los 15 minutos, menores al valor referencial de comercialización de 0,06% a los 20 minutos y menores al estándar del CPTS (0,01%) a los 30 minutos, excepto el ecotipo Toledo.
- El ecotipo Real Blanca presentó el porcentaje más bajo de proteínas (~ 10,5 %) y el porcentaje más alto de materia grasa (~ 7,2 %), en comparación con los otros 2 ecotipos (> 10,5 % proteínas y ~ 5,5 % materia grasa). Para todos los casos, estos valores aumentaron parcialmente cuando fueron procesados usando la nueva tecnología desarrollada, manteniendo su calidad nutritiva.
- Los granos de quinua procesados no mostraron signos visibles de daños en la superficie, incluyendo el embrión. La remoción de las capas más externas del episperma es más homogénea y controlada en el beneficiado en seco propuesto, que en el beneficiado vía húmeda donde los granos son escarificados, lavados, secados y venteados. La apariencia y el espesor final del episperma remanente en el grano, producto terminado, son muy parecidos al de la quinua procesada con la tecnología disponible en el mercado.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación corresponde a la 1ª Fase de Investigación del Informe final: “Proyecto de prefactibilidad para un proceso de beneficiado en seco de variedades amargas de quinua, basado en la aplicación de un lecho fluidizado de tipo surtidor”, que fue realizado con financiamiento otorgado por la Embajada de Dinamarca a través del Programa

de Investigaciones Estratégicas en Bolivia – PIEB, en el marco de la Convocatoria: “Formulación de Propuestas para la Producción Sostenible de Quinua en Oruro y Potosí”

Los autores agradecen a la Universidad Mayor de San Andrés, Universidad Mayor de San Simón, Universidad Nacional de Salta y a los estudiantes de la UPB por la colaboración brindada.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] M. J. Koziol. “Chemical Composition and Nutritional Evaluation of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)” *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 5, pp. 35-68, 1992.
- [2] N. T. Ahamed et al. “A lesser-known grain, *Chenopodium quinoa*: Review of the chemical composition of its edible parts.” *Food and Nutritional Bulletin*, vol. 19, pp. 61-71, 1998.
- [3] R. Miranda. “Caracterización Agromorfológica de 685 Acciones de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow) Pertenecientes al Banco de Germoplasma de Granos Altoandinos del CIBREF – UTO en el CEAC.” Tesis de Grado, Universidad Técnica de Oruro, Bolivia, 2010.
- [4] S. Villacorta and V. Talavera. “Anatomía del Grano de Quinua (*Chenopodium Quinoa* Wild).” *Anales Científicos UNA*, vol. 14, pp. 39-45, 1976.
- [5] P. Jiménez et al. “Caracterización Química y Estructural de Semillas de Quinua Variedad CICA.” Memoria Resúmenes III Congreso Mundial de Quinua (CD), Oruro – Bolivia, 2010.
- [6] T. Madl et al. “Tandem Mass Spectrometric Analysis of a Complex Triterpene Saponin Mixture of *Chenopodium Quinoa*.” *American Society for Mass Spectrometry*, vol. 17, pp. 795-806, 2006.
- [7] R. Repo-Carrasco et al. “Valor Nutricional y Usos de la Quinua (*Chenopodium quinoa*) y de la Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*).” Internet: <http://www.scribd.com/doc/12412360/Valor-Nutricional-y-Usos-de-La-Quinuay-la-Kaniwa>. [27 Septiembre 2010].
- [8] T. Kuljanabhagavad and M. Wink. *Biological activities and chemistry of saponins from Chenopodium Quinoa Wild*. *Phytochem Rev.*, vol. 8, pp. 473–490, 2009.
- [9] J. Ruales. “Development of an infant food from quinoa *Chenopodium Quinoa* Wild.” Technological aspects and nutritional consequences. Doctoral Thesis, University of Lund, Sweden, 1992.
- [10] O. Guglu-Ustundag and G. Mazza. “Saponins: Properties, Applications and Processing.” *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 47, pp. 231–258, 2007.
- [11] R. Zavaleta, *Evaluación de Procesos Industriales para la Desaponificación de la Quinua*. Grupo de Política Tecnológica, Lima – Perú, pp. 25, 1993.
- [12] Instituto Boliviano de Normalización y Calidad – IBNORCA (2007). Norma Boliviana Granos andinos – Pseudo cereales – Quinua en grano – Clasificación y requisitos, NB NA 0038. *Compendio Normas Técnicas y Guías de Implementación de Normas del Sector Quinua*, pp. 1-7.
- [13] C. Nieto and R. Valdivia. *Libro de la Quinua*, Documento FAO. [En línea]. Internet: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/cap1.htm>. [10 Julio 2009].
- [14] W. Rojas et al, *From neglect to limelight: Issues, methods and approaches in enhancing sustainable conservation and use of andean grains in Bolivia and Peru*, Jarts Supplement 92, pp. 87 – 117, 2009.
- [15] Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, IBNORCA (1996). Norma Boliviana NB 683, Cereales – Quinua en grano – Determinación del contenido de saponinas – Método de la espuma.
- [16] Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International, AOAC (1997). AOAC Official Method 984.13, 16th ed. Gaithersburg, Maryland, USA.
- [17] Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International, AOAC (1997). AOAC Method 14.019, 14th ed. Gaithersburg, Maryland, USA.