

Capítulo IX

Procesamiento

Ritva Repo¹ & Jazmín Kameko²

En los Andes se producen nueve especies de tubérculos y raíces (Hermann y Heller, 1997), incluyendo al ulluco, todas ellas tienen un potencial para el desarrollo de la agricultura y la agroindustria y para mejorar el nivel nutricional de la población. Algunos de estos productos son altamente perecibles debido a su elevado contenido de agua, 80-90 % como es el caso del ulluco (León, 1964; Cortez, 1987). Su alta perecibilidad es causante de las pérdidas del producto durante la época de cosecha, en la cual se acumulan excedentes de producción. Actualmente el ulluco prácticamente no se procesa.

Los tubérculos de ulluco tienen una cáscara tan delgada que no necesita ser pelado para su consumo. La pulpa, usualmente de color amarillo, tiene una textura suave y sedosa con un sabor agradable. En los últimos años el ulluco ha llegado a los supermercados de Lima, ya sea en forma semi-procesada, seleccionado y cortado en tiras y listo para la preparación del plato típico "olluquito con charqui", o como tubérculos frescos. Según el National Research Council (1989), el ulluco es uno de los pocos cultivos nativos cuya distribución en los Andes es mayor ahora que hace 100 años. Según Hermann y Heller (1997) el ulluco tiene 30 millones de consumidores en el área andina. Junto con la arracacha, tiene nichos de mercado definidos y su consumo es bastante estable, su ventaja en comparación con la arracacha, es que tiene un ámbito de consumo más amplio, incluyendo tanto el mercado rural como el urbano.

La industrialización del ulluco podría garantizar una mejor conservación y un mayor acceso a los mercados

¹ M.Sc. Profesora Asociada. E-mail: ritva@lamolina.edu.pe

² Ing. Industrias Alimentarias. Asistente de Investigación Departamento de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina. Apartado 456, La Molina, Lima, Perú.

urbanos. Utilizando tecnologías simples como la deshidratación y el enlatado pequeñas empresas agroindustriales podrían ofrecer sus productos a diferentes mercados. La tecnología de extrusión ofrece una alternativa nueva para el procesamiento del ulluco y otros tubérculos andinos.

En este Capítulo se presenta los resultados de un subproyecto de investigación sobre "Desarrollo de nuevos productos en base a oca, ulluco y maca", del Programa Colaborativo de Conservación y Uso de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. Este subproyecto se llevó a cabo como continuación del proyecto "Desarrollo de Productos de Papas Nativas" (Alvarez y Repo, 1999). Se presentan principalmente las investigaciones tecnológicas realizadas en la Universidad Nacional Agraria La Molina, con énfasis en la sierra central.

Composición y valor nutricional del ulluco

El ulluco, como todos los tubérculos, posee una alta proporción de agua. Si calculamos el contenido de los compuestos en base seca, encontramos que el ulluco es una fuente importante de calorías por su alto porcentaje de carbohidratos (Cuadro 1). El contenido de proteínas varía entre 10.8 % y 15.7 % en base seca. Entre las proteínas encontramos la valina, la treonina y la leucina como aminoácidos limitantes (Cuadro 1).

El contenido de vitaminas no es muy alto. El nivel de ácido ascórbico por ejemplo es la mitad del encontrado en la papa. Sólo los niveles de vitamina A (3.77 mg equivalente de retinol) son mayores que en la oca (1.26 mg equivalente de retinol) y papa (trazas). En cuanto a minerales en comparación con la papa, el ulluco sólo es ligeramente superior en sus niveles de Fe (1.1 mg en ulluco; 0.9 mg en papa) (King y Gershoff, 1987).

Cuadro 1. Composición química y contenido de amino ácidos del ulluco

Componente	Mínimo % (b.s.)*	Máximo % (b.s.)
Proteína	10.8	15.7
Carbohidratos	73.5	81.1
Grasa	<0.1	1.4
Ceniza	2.8	4.0
Fibra cruda	3.6	5.0
Humedad	86.0	86.2
Calorías	377.0	381.0

Aminoácido	Contenido de proteína (mg/g)	Patrón de proteína FAO/OMS (1985) (mg/g)	% del patrón
Isoleucina	41	52	79
Leucina	49	70	70
Lisina	48	55	87
Metionina + Cisteína	31	35	89
Fenilalanina + Tirosina	60	60	100
Treonina	27	40	68
Triptofano	9	10	90
Valina	35	50	70

Fuente: King y Gershoff, 1987.

* b.s. = Base seca

Procesamiento

Entre las preparaciones tradicionales se pueden mencionar: la sopa de melloco (Ecuador), el ollquito con charqui (Perú), el chupe y el ají de papalisa (Bolivia y Perú). Se presta también para platos de la cocina contemporánea, por ejemplo para ensaladas y espesamiento de sopas y estofados proporcionando una consistencia suave a estas preparaciones culinarias. Las hojas de ulluco son también usadas en ensaladas y sopas o para reemplazar a la espinaca cuyo sabor es similar (King, 1988). Las hojas contienen 12 % de proteínas en base seca (National Research Council, 1989)

Algunas variedades contienen cantidades elevadas de mucílago que no agrada a los consumidores y requieren, para eliminarlo, un hervor previo a la preparación. (Arbizu y Tapia, 1992). Este alto contenido de mucílago sería un factor negativo para incrementar la demanda de ulluco así como para su agro-industrialización (Arbizu y Hermann, 1993).

En Bolivia se ha desarrollado un proceso para obtener harina de ulluco a partir de hojuelas secas. Las operaciones de este proceso son: selección, lavado, cortado en hojuelas de 2 mm de espesor, escaldado a

90 °C por tres minutos, secado en un secador de bandeja, primero a 38 °C por cinco horas y luego a 68 °C por una hora y media; molienda y envasado. Esta harina se usa en panadería y pastelería ya que es factible sustituir la harina de trigo en estos productos, hasta en 10 %. En Bolivia también se ha estudiado la deshidratación de ulluco en trozos para el uso en platos típicos (Prog. Col. Biodiv. RTAs, 1996). En Perú se han hecho estudios de deshidratación y se ha obtenido una crema envasada de ulluco. El proceso de obtención de la crema es el siguiente: los tubérculos son seleccionados y lavados y luego escaldados a una temperatura de 95 °C por tres y medio minutos para luego enfriarlos en agua fría. Después los tubérculos son triturados hasta obtener la consistencia de crema. La crema es luego colocada en envases de hojalata que son sellados al vacío. El tratamiento térmico se hace en una autoclave a 121 °C durante 90 minutos (Salas, 1998). En Ecuador se han desarrollado mermeladas de ulluco con mora utilizando 40 % de ulluco y 60 % de mora (Cruz y Tobar, 1998).

Deshidratación

La deshidratación de los alimentos como método de conservación es una de las técnicas de procesamiento

más antiguas. En la actualidad sigue siendo el método más utilizado para conservar alimentos. Su objetivo principal es garantizar la seguridad alimentaria prolongando la vida útil de un producto alimenticio. Además de prolongar la vida de los alimentos y de reducir las pérdidas, el secado ofrece muchas ventajas ya que es una técnica de fácil implementación y los costos de envasado del producto son normalmente reducidos. Adicionalmente, el peso del producto final es bajo, lo que disminuye los costos de transporte (ITDG, 1998).

Los productos que tradicionalmente han sido sometidos al secado son: los cereales, las menestras, las carnes, el pescado y algunos vegetales, frutas y hierbas. En la zona andina existen varios productos tradicionales, como el chuño y el charqui. Debido a la alta perecibilidad del ulluco los antiguos pobladores de los Andes buscaron la manera de conservar los excedentes mediante la congelación y deshidratación. El producto de esta deshidratación se llama "lingli" y se usa para sopa y como harina. El procesamiento para la obtención de "lingli" es similar al que sufre la oca para la producción de "khaya" y la papa para la producción de "chuño" (National Research Council, 1989).

El simple secado al sol es el método más utilizado en el mundo. Este método de secado tiene las siguientes ventajas: no requiere de ningún costo adicional y no necesita estructuras permanentes ya que los productos se secan extendidos sobre los techos o patios. Sin embargo, tiene ciertas limitaciones como, por ejemplo, que la pérdida de humedad no es constante porque depende del clima. El proceso es muy lento y esto aumenta el riesgo de contaminación. Los niveles finales de humedad no son lo suficientemente bajos para poder garantizar su posterior conservación.

Esta técnica puede ser mejorada mediante el uso de secadores solares. En los secadores solares se pueden conseguir temperaturas más elevadas y así se puede reducir la humedad con una mayor eficiencia. Otra ventaja es que el producto está protegido del polvo y los insectos. Los secadores ofrecen también protección contra las lluvias. Sin embargo, los secadores solares tienen algunas limitaciones. No pueden usarse durante la noche y su nivel de eficiencia es menor en época de lluvias y alta nubosidad. Para enfrentar estos problemas se han diseñado varios tipos de secadores que utilizan una fuente de energía para crear el calor. Estos secadores dependen del calor producido por la combustión de madera, gas o petróleo y por electricidad. Los tipos más comunes incluyen los secadores de bandeja donde el aire caliente pasa a través de una serie de bandejas que contienen el producto, los secadores rotativos (de

tambor) y los secadores de túnel. Estos secadores ofrecen varias ventajas: buen grado de control sobre el proceso, total independencia de las variaciones climáticas y un producto final de superior calidad (ITDG, 1998).

A continuación se presenta el flujo de procesamiento de ulluco deshidratado en hojuelas (Figura 1).

Descripción de las operaciones de deshidratado de ulluco:

- A fin de asegurar una calidad uniforme, se clasifican de acuerdo al color y tamaño y se eliminan aquellos tubérculos partidos, picados y deteriorados. Los tubérculos se lavan con abundante agua para eliminar la tierra impregnada.
- Los tubérculos son cortados en hojuelas de 2.5 a 3 mm de espesor.

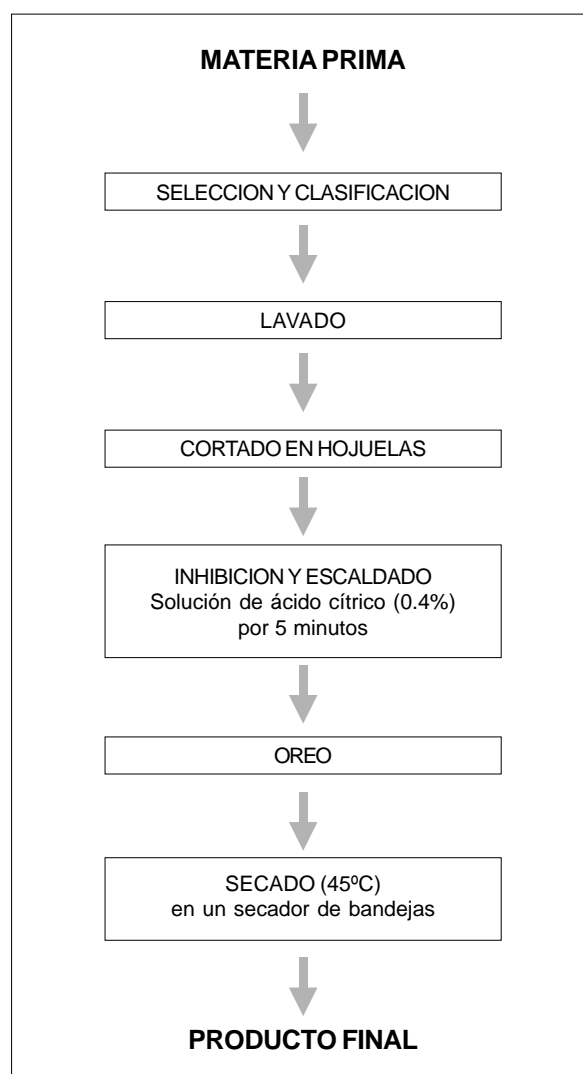


Figura 1. Obtención de ulluco deshidratado.

- El nivel de pardeamiento de las hojuelas de ulluco puede ser considerable si no se realiza después del cortado ningún tratamiento de inactivación enzimática. Es efectiva la inmersión en una solución de ácido cítrico al 0.4 % durante cinco minutos.
- En las hojuelas el escaldado se consigue sumergiendo las hojuelas en agua hirviendo (100 °C) por un minuto y medio.
- El oreo se realiza para eliminar el exceso de agua antes del secado.
- El secado se realiza a una temperatura de 45 °C hasta alcanzar una humedad de 5-7 %. El rendimiento en producto seco es de 9-10 % debido al elevado contenido de agua de los tubérculos.

Este producto puede ser conservado por tiempo considerable. Las hojuelas pueden ser rehidratadas y utilizadas en diferentes preparaciones culinarias. El ulluco deshidratado es utilizado como materia prima en el proceso de extrusión descrito en el presente Capítulo (Figura 2).

Conservas

En salmuera

La base de la conservación de alimentos mediante el calor, es la pérdida de viabilidad de los microorganismos que causan alteraciones de los mismos y pueden suponer un riesgo para la salud del consumidor. Asimismo, es muy importante tomar en consideración la conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales. En la práctica, la principal preocupación es la posible presencia de las esporas bacterianas, porque es en esta forma que las bacterias son sumamente resistentes al calor.



Figura 2. Productos de ulluco: adelante hojuelas deshidratadas, atrás ulluco envasado en salmuera.

Los alimentos enlatados se clasifican según su pH, o acidez. Así tenemos alimentos no ácidos con pH mayor de 6.0, alimentos poco ácidos con pH 5-6, los alimentos semiácidos con pH entre 4.5-5.0, los alimentos ácidos de pH 3.7-4.5 y los alimentos muy ácidos con pH menor de 3.7. La principal demarcación en la clasificación de la acidez se basa en la capacidad de las esporas de un microorganismo, *Clostridium botulinum*, para germinar, multiplicarse y producir toxinas en los alimentos. El pH mínimo en el que sucede esto es 4.7, pero se deja un margen de seguridad y se utiliza el pH 4.5 como criterio de necesidad de tratamiento térmico. Los alimentos con pH 4.5 o menor no necesitan un tratamiento térmico severo.

Se han desarrollado dos tipos de conservas: ulluco envasado entero en salmuera y ulluco encurtido. Se presenta el flujo del procesamiento de ulluco envasado entero (Figura 3).

Descripción del procesamiento de ulluco entero envasado en salmuera

- A fin de asegurar una calidad uniforme, se seleccionan y clasifican de acuerdo al color y tamaño y se eliminan aquellos tubérculos partidos, picados y deteriorados.
- Se lavan los tubérculos con abundante agua pues el producto viene con bastante tierra.
- El envasado y llenado se realiza manualmente en frascos de vidrio resistente. La solución de cubierta (salmuera) está constituida por agua y sal a una concentración del 2 %. La solución de cubierta se vierte en el frasco que contiene los tubérculos.
- La operación de evacuado se realiza en un túnel de vapor ("exhauster") donde se asegura un vacío adecuado.
- Se cierran los frascos herméticamente con una tapa.
- El tratamiento térmico se realiza en una autoclave a 121 °C por 23 minutos.
- Los frascos son enfriados a temperatura ambiente. (Figura 4).

Ulluco encurtido

Se llaman encurtidos a los vegetales u hortalizas que se conservan por acidificación. Esto puede lograrse mediante la adición de ácido acético o vinagre a los vegetales. El encurtido permite conservar los productos

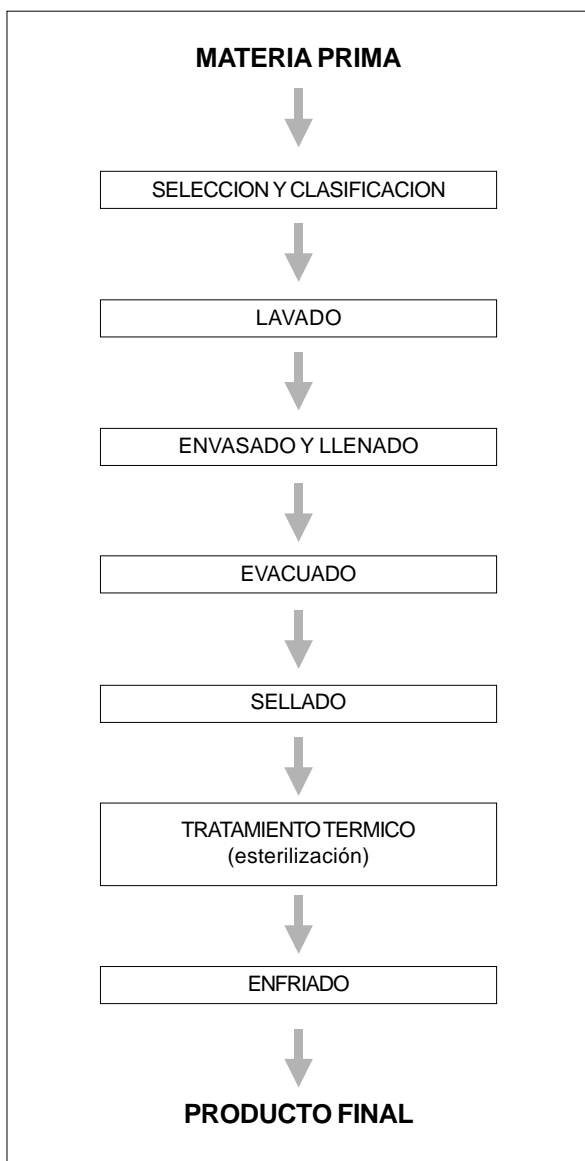


Figura 3. Procesamiento de ulluco envasado entero.

vegetales durante mucho tiempo porque el ácido acético previene el desarrollo de microorganismos que podrían descomponer el producto. Los encurtidos pueden ser dulces, picantes o agridulces. Se recomienda que el vinagre empleado en la elaboración de encurtidos sea de 5 % de acidez acética, como mínimo. Se puede usar cualquier verdura u hortaliza, por ejemplo pepinillos, champiñones, pimentón, etc. En este caso se utilizó el ulluco para la preparación de un encurtido.

Descripción de las operaciones de procesamiento de ulluco encurtido

- A fin de asegurar una calidad uniforme, se pesan los tubérculos se seleccionan y clasifican de acuerdo a



Figura 4. Ulluco envasado en salmuera.

su color y tamaño. Se eliminan aquellos tubérculos partidos, picados y deteriorados.

- Los tubérculos se lavan con abundante agua para eliminar la tierra impregnada y se elimina la cáscara.
- Se cortan los tubérculos en trozos.
- El escaldado es un tratamiento térmico que consiste en calentar el producto por inmersión en agua a 100 °C durante un breve periodo, en este caso por 3 minutos. Su principal objetivo es inactivar las enzimas y destruir los microorganismos presentes en la superficie de los tubérculos.
- Para el acondicionamiento y envasado se prepara el vinagre blanco (5 % de acidez) añadiendo azúcar (40 % del vinagre) y sal común (1 %). Se hace hervir esta mezcla por 10 minutos y se añaden también hojas de laurel. Se colocan los tubérculos cortados en el envase de vidrio y se añade el vinagre preparado y caliente hasta que cubra los tubérculos.
- Se cierran los frascos herméticamente (Figura 5).

Procesamiento de una mezcla alimenticia de ulluco-quinua mediante cocción-extrusión

La tecnología de cocción-extrusión de bajo costo constituye una alternativa tecnológica para la agro-industrialización de productos nativos como el ulluco y la quinua, en la elaboración de una harina instantánea para el desayuno. Para ello es necesario determinar los parámetros más adecuados para el pre-acondicionamiento del ulluco, cómo procesar la mezcla alimenticia de ulluco y quinua y evaluar el efecto de la extrusión sobre algunas propiedades funcionales y

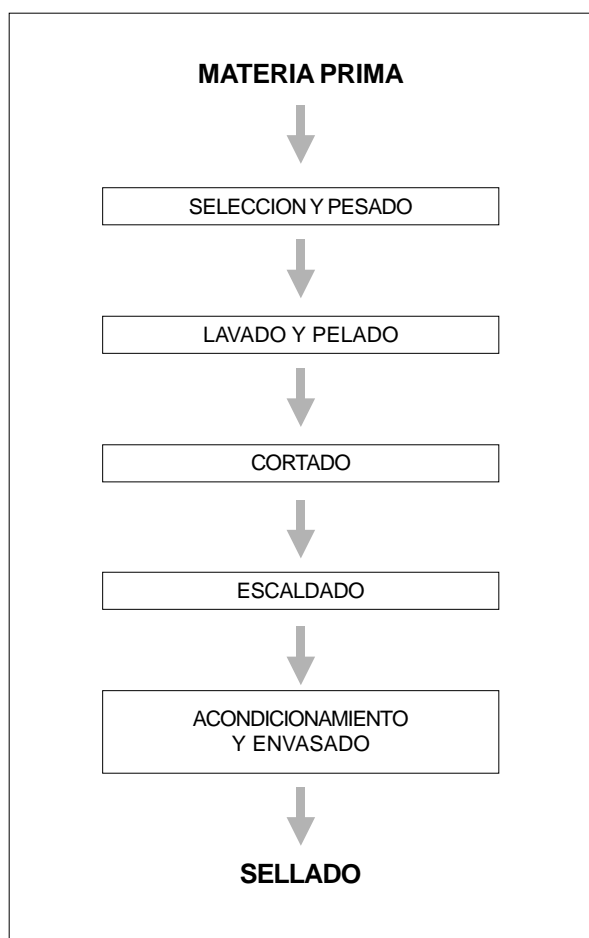


Figura 5. Flujograma de procesamiento de ulluco encurtido.

nutricionales de la mezcla extruida. La quinua fue elegida por su alto valor nutricional, en especial el de sus proteínas, que complementan adecuadamente a aquellas del ulluco, así como por sus buenas cualidades de transporte al interior del equipo.

Extrusión

La extrusión podría definirse como la acción de modificar la presentación natural de un material forzándolo a través de una matriz (dado) casi siempre después de un calentamiento previo. La cocción-extrusión combina el calentamiento de productos alimenticios con el acto de extrusión para crear un producto alimenticio formado y cocido. Esta aplicación de calor puede darse por inyección directa de vapor o indirecta a través de chaquetas y/o por disipación de energía viscosa. En este proceso un material rico en almidón y/o proteico, previamente humectado, es convertido en una masa pseudoplástica y cocinada dando como resultado la gelatinización de los almidones, la desnaturalización de su proteína, la inactivación de enzimas, la destrucción de sustancias tóxicas nativas en el alimento y la

reducción, en el producto final, de microorganismos que puedan ser nocivos a los consumidores (Miller, 1990).

Harper (1981), menciona las ventajas de esta tecnología:

- Los productos cocidos por extrusión, microbiológicamente aptos, libres de larvas y patógenos, con lo cual su vida de anaquel es superior a otras.
- Se pueden procesar grandes cantidades de alimentos de manera continua debido a que el tiempo de procesamiento es muy corto.
- Los cocedores-extrusores consumen menos energía total por tonelada de producto que otros métodos de cocción y son termodinámicamente eficientes.
- La mano de obra requerida es menor que en otros sistemas de cocción.
- No hay efluentes ni residuos del proceso, excepto los producidos por la limpieza del equipo.
- Puede utilizarse una amplia gama de materias primas al igual que para una amplia variedad de productos finales.
- El costo de operación es bajo debido al bajo requerimiento de energía, mano de obra, espacio, y tiempo.
- La inversión inicial es baja si tenemos en cuenta que el extrusor realiza muchas operaciones a la vez, lo que en otros procesamientos implicaría el uso de más de un equipo.

Clasificación de extrusores

Los extrusores pueden clasificarse según Mercier *et al.* (1998), por diferentes criterios:

Por el número de tornillos

a) Extrusores monotornillo. En los extrusores de un solo tornillo girando dentro de un barril, se pueden distinguir las tres secciones: zona de alimentación, zona de compresión, zona de descarga. El tornillo puede ser diseñado como una sola pieza o con piezas intercambiables, lo que le permite cambiar su configuración e incrementar su versatilidad y además reducir el costo al cambiar sólo las piezas desgastadas.

La razón de compresión de este extrusor, definida como la relación entre el área de flujo en la zona de alimentación y el área de flujo en la zona de descarga,

puede ir de 1:1 hasta 1:5 debido a que se puede tener profundidad de aleta variable.

Las aletas del tornillo transportan al material a través del cilindro a una velocidad que es directamente proporcional a la velocidad del tornillo; las estrías de la pared interna del barril previenen que el material resbale y gire junto con el tornillo. A este tipo de flujo se le llama "arrastre". El flujo al interior de un extrusor monotornillo es del tipo laminar. Además del arrastre se da un flujo inducido por la diferencia de presión existente entre la zona de descarga (alta presión) y la zona de alimentación, la dirección del flujo es consecuentemente contraria y puede reducir en pequeño grado el rendimiento neto del proceso (Mercier *et al.*, 1998).

b) Extrusores de doble tornillo. Consiste en dos tornillos paralelos rotando dentro de un barril. Según giren éstos en el mismo sentido o en sentido opuesto se subdividen en:

Corrotacionales: Estos extrusores permiten la alimentación de ingredientes sólidos o fluidos por separado. La razón de compresión es 1:1 es decir que la profundidad de aleta es constante. Estos son los más populares puesto que trabajan a mayor capacidad.

Contrarrotacionales: Estos operan a bajas velocidades de giro puesto que se genera gran fricción entre los tornillos.

En general los extrusores de doble tornillo por su configuración logran una mayor eficiencia en el transporte y mezclado del material. Además el engranaje de los tornillos genera una auto limpieza de los mismos (Cisneros, 2000).

Por la intensidad de cizalla

a) Extrusores de baja cizalla. Este tipo de extrusores trabaja con materiales de alta humedad, a bajas velocidades de giro de tornillo. Otra característica es que las aletas del tornillo son profundas. Las operaciones básicas que se realizan con estos equipos son el mezclado y moldeado del material. Un ejemplo de éstos son los extrusores de pasta.

b) Extrusores de alta cizalla. Estos extrusores por el contrario trabajan con masas de baja humedad, a altas velocidades de giro del tornillo. En este caso las aletas del tornillo son cortas, de esta manera se genera una mayor fricción lo que origina una mayor temperatura por disipación viscosa de la energía mecánica. Esto trae como consecuencia la cocción

del material. También se genera una mayor presión al interior del barril lo que se traduce en una mayor expansión del material a la salida del dado. Un ejemplo de estos extrusores son aquellos para producir bocadillos o cereales instantáneos.

Por la generación de energía térmica

a) Extrusores autógenos. La energía térmica es generada únicamente por conversión de energía mecánica. La energía mecánica es generada por la fuerza de fricción entre las capas en movimiento del producto. La energía resultante en el producto es mayor cuanto mayor es la viscosidad del producto, el diámetro del tornillo, la velocidad del tornillo y cuanto menor sea la profundidad de las aletas.

b) Extrusores isotérmicos. En estos la energía calorífica es proporcionada por una fuente externa, la cual puede transmitirse por (1) Conducción a través del barril, es decir mediante calentadores eléctricos o chaquetas de vapor o por (2) Convección, mediante la aplicación directa de vapor en el producto sea directamente en el barril o en un pre-acondicionador antes que entre al extrusor.

Extrusores de bajo costo y su aplicación en el procesamiento de productos andinos

Dentro de los tipos de extrusores que se han desarrollado existen, como bien describe Harper (1981), los llamados extrusores de bajo costo, los cuales fueron inicialmente desarrollados para procesar granos de soya, de una manera simple, utilizando el mínimo de equipos auxiliares. Estos equipos pertenecen a la clasificación de autógenos, por la forma como se transfiere energía al producto. En estos, como ya fue explicado antes, la energía total entregada al material se da únicamente por disipación de la energía mecánica. No cuentan con barriles enchaquetados ni con cámaras de pre-acondicionamiento, lo cual le resta complejidad al equipo.

El proceso, que se realiza en seco, permite que se genere una elevada fuerza de corte, que causa que se genere calor y se logre la cocción del material durante el proceso. Además el procesamiento en seco minimiza los costos de capital y operativos pues evita la necesidad de secar el producto. La aplicación de estos extrusores simples ha sido extendida a la producción de mezclas alimenticias de alto valor nutricional formuladas en países en vías de desarrollo a partir de cereales y leguminosas.

Aunque los costos de capital son relativamente bajos debido a la simplicidad del equipo, también es reducida

su versatilidad, así, la capacidad de obtener diferentes productos es menor que con extrusores que operan a humedades mayores o que cuentan con cámaras de pre-acondicionamiento. Por otro lado el extrusor autógeno se ve restringido a operar a bajas humedades con un limitado número de formas. La potencia y los costos de mantenimiento de estos extrusores tienden a ser mayores que los de los extrusores convencionales, debido a la alta energía mecánica entregada, aunque comparativamente son menores con respecto a otras tecnologías de cocción.

Harper (1981), realiza una comparación entre la tecnología de cocción-extrusión de bajo costo y los sistemas de secado por tambor, concluyendo que la extrusión implica costos de capital y operación sustancialmente menores. Otra ventaja que presenta la extrusión sobre el secado por tambor es que trabaja a humedades bajas por lo que el producto una vez cocido no requiere ser secado; los tiempos de procesamiento son bastante cortos en extrusión (menor a 200 segundos) con respecto al tiempo de permanencia de 30 minutos como mínimo en el tambor. Mediante la extrusión es posible obtener productos con diferentes formas y texturas mientras que el secado por tambor sólo permite obtener productos en forma de hojuela. Por otro lado el procesamiento a alta temperatura por el corto tiempo de la extrusión minimiza los efectos del sobrecalentamiento sobre el valor nutricional del alimento. El punto a favor que puede resaltarse de los productos obtenidos mediante secado por tambor es que presentan un bajo índice de absorción de agua, lo cual mantiene al producto crujiente por más tiempo cuando se mezcla con leche que es la forma regular de consumo (Cisneros, 2000).

Debido a la falta de una industria láctea bien desarrollada en los países en vías de desarrollo y a un extendido problema de intolerancia a la lactosa que se manifiesta en los niños desde temprana edad, se han venido haciendo muchos esfuerzos para desarrollar fórmulas alimenticias de costo razonable basadas principalmente en ingredientes no lácteos. En el caso de los países andinos, por ejemplo, se vienen empleando granos de buena calidad proteica como la quinua, kiwicha, cañihua, haba pudiendo también emplearse raíces como la maca y tubérculos como la oca y ulluco los cuales requieren de una deshidratación previa. Estos materiales son procesados mediante esta tecnología de cocción-extrusión de bajo costo, la cual por su simplicidad, baja inversión y bajo costo de operación ostenta una gran viabilidad para ser transferida a las zonas alto andinas más precarias.

Usando la cocción extrusión de bajo costo es posible extruir granos sin necesidad que éstos sean desgrasados por lo que no es necesario contar con sistemas de extracción de aceite, que además implicarían un costo y una operación adicional. Lo que sí es necesario realizar es el descascaramiento de los cereales y leguminosas antes del procesamiento térmico, para evitar que el porcentaje de fibra no exceda el 2% lo cual afectaría su digestibilidad, disminuiría su densidad calórica y reduciría la absorción de minerales.

Para seleccionar las formulaciones hay que tener en cuenta (Harper, 1981):

- El costo de los ingredientes
- Disponibilidad de la materia prima
- Necesidades nutricionales de los consumidores
- Aceptabilidad
- Intención de uso
- Tipo de producto

Para incrementar la densidad calórica en estas mezclas es posible adicionar aceite, pero esto podría ser caro y causar problemas de estabilidad en almacenamiento. También se puede añadir azúcar para incrementar la palatabilidad y reducir costos. El azúcar debe ser añadido sólo después de la extrusión para evitar el oscurecimiento y las pérdidas de lisina (Harper, 1981).

Frecuentemente para alcanzar los niveles deseados de proteína, la misma que debe estar entre 14-15 % y ser de buena calidad, se adiciona leche en polvo. Este ingrediente debe ser agregado después de la extrusión para evitar pérdidas de lisina por la reacción de Maillard entre la lactosa y el mencionado aminoácido. Las vitaminas y minerales deberán ser añadidos considerando las deficiencias nutricionales locales. Estos micronutrientes deberán ser añadidos luego de la extrusión puesto que la termolabilidad de algunas y la poca estabilidad de otras hacen que se pierdan durante el procesamiento.

Se han extruido satisfactoriamente muchas formulaciones a partir de diversos ingredientes en sistemas simples de extrusión autógena. Es importante que la formulación contenga un mínimo de 5 % de grasa que es requerido para suavizar la continuidad de la operación. Las características del producto final dependen de la materia prima utilizada, la cantidad de grasa de la mezcla, las condiciones de temperatura y humedad del proceso así como de la molienda de la materia prima (Harper, 1981).

Finalmente, podemos concluir que la extrusión de mezclas alimenticias es definitivamente un método de procesamiento viable de bajo costo, y que ofrece posibilidades significativas en la producción de alimentos precocidos de alto valor nutricional a partir de materias primas locales; constituyéndose en una alternativa tecnológica ventajosa sobre otros métodos convencionales de cocción (Miller, 1990; Harper, 1981).

En 1997, la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) recibió un extrusor modelo vietnamita como donación de la ONG francesa GRET, la misma que trabajó con los extrusores de bajo costo en Vietnam para el procesamiento de alimentos infantiles con materias primas locales y cuyo interés era difundir esta tecnología en Perú y otros países andinos. Los extrusores de bajo costo presentan muchas ventajas frente otro tipo de extrusores, porque no requieren muchos equipos auxiliares, son autógenos, operan a bajas humedades y no requieren pre-acondicionamiento.

En el convenio con GRET se empezó a hacer pruebas de procesamiento con cultivos andinos: quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*). El equipo original presentó muchos problemas cuando era alimentado manualmente, y cuando la temperatura oscilaba mucho, igualmente por el grado de cocción del producto final. También hubo problemas en el manejo del equipo, porque el tornillo permanecía dentro de la cámara teniendo por ello que desarmarse constantemente todo el equipo.

Tomando en cuenta todos los inconvenientes mencionados arriba, se decidió hacer un nuevo diseño del equipo e implementarse un sistema de alimentación automática. La UNALM firmó un convenio con el Intermediate Technology Development Group (ITDG) para este trabajo. Para la construcción del nuevo equipo y sistema de alimentación se trabajó con un taller de metal mecánica. Las principales modificaciones con respecto al modelo original fueron las siguientes:

- Mayor longitud del tornillo, de 130 mm a 300 mm.
- Matrices de salida de 2, 4 y 6 orificios.
- Resistencia de calentamiento con termostato.
- Sistema de enfriamiento con agua .
- Sistema de alimentación automática con velocidad variable.

Con este extrusor se llevaron a cabo las investigaciones sobre la extrusión de ulluco y otros tubérculos andinos. A continuación se presentan los resultados de estas investigaciones. La foto del extrusor se puede apreciar en la Figura 6.

Secado del Ulluco. En investigaciones realizadas se empleó ulluco de la variedad Jaspeado procedente de la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Mediante pruebas preliminares, se determinaron los tiempos de inactivación, grosor de las rodajas a secar y tiempo de secado para que el producto deshidratado tuviera una textura que permitiera su molienda hasta un tamaño de partícula adecuada para ingresar al extrusor. El tamaño óptimo de las partículas no es estándar, depende de la configuración del equipo, de la materia prima, pero en general se prefiere trabajar con tamaños gruesos y no con harinas pues éstas no favorecen el transporte del material al interior del extrusor, así como tampoco favorecen al Índice de Expansión ofreciendo productos más densos.

Los criterios para seleccionar el mejor tratamiento para ulluco fueron: la preservación del color, la textura adecuada para la molienda hasta la obtención de "grits" (polvillo), y lograr un buen rendimiento. Se tuvo como acondicionamiento óptimo un corte en láminas de 2.5–3.0 mm, inactivación con ácido cítrico al 0.4 % por cinco minutos y un posterior secado a 55 °C por dos horas, obteniéndose como resultado un producto seco, quebradizo y de buen color.

Se observó que el nivel de pardeamiento del ulluco puede ser considerable si no se realiza ningún



Figura 6. Vista del extrusor, tornillo para el transporte del producto (longitud 30 cm) y dados de salida del producto.

tratamiento de inactivación enzimática inmediatamente después del cortado. Una inmersión en ácido cítrico al 0.4 % durante cinco minutos demostró ser efectiva, más práctica y con mejores características texturales en el producto seco, por lo que se prefirió a los tratamientos de blanqueado (inmersión en agua a 100 °C por pocos minutos).

El rendimiento en producto seco fue de 9.1 % debido a la elevada proporción de agua que presenta el tubérculo. El contenido de humedad del ulluco deshidratado fue de 8.8 %.

Molienda del ulluco. Se utilizó para este fin un molino de martillos. Se pudo observar, como será discutido más adelante que el producto molido resultante tuvo una alta proporción de elementos finos que no eran recomendables para procesos de extrusión. Esto se debió a la alta potencia del equipo de molienda que propiciaba la desintegración del producto deshidratado en partículas muy finas (Cuadro 2).

Desaponificación de quinua. Para la obtención de la mezcla se empleó quinua variedad Kcancolla procedente de la Universidad del Altiplano de Puno. La desaponificación de la quinua se realizó mediante vía húmeda. Los resultados del análisis de saponinas previa y posteriormente al lavado se presentan en el Cuadro 3, donde podemos observar que la remoción de saponinas fue eficiente, lográndose reducirlas al 0 % después del lavado. Repo-Carrasco (1999), sostiene que desde el punto de vista nutricional es más efectivo el método combinado (primero un escarificado en seco y luego un lavado con agua) puesto que se reducen las pérdidas de nutrientes, además es menor el gasto energético.

Las variedades de quinua según su contenido de saponinas pueden clasificarse en dulces o amargas, siendo las dulces aquellas que presentan menos de 0.11 % de saponinas (Tapia, 1997). Tapia clasificó a la Kcancolla como variedad amarga; sin embargo, del análisis realizado se obtuvo 0.083 % correspondiente a variedades dulces, debido posiblemente a algún factor climático como lluvias previas a la cosecha que “lavan” las saponinas del grano, o quizás debido a algún cruzamiento genético.

El método de análisis para la determinación de saponinas fue propuesto por Latintreco (1990), citado por Tapia (1997). Es un método rápido y sencillo que relaciona la altura de espuma generada por la agitación de una determinada cantidad de quinua dentro de un tubo de ensayo con agua, con el porcentaje de saponinas obtenido por métodos químicos, mediante una curva

experimental elaborada por Latinreco. Tapia (1997) afirma que pese a la sencillez del método éste tiene gran reproducibilidad y muy buena correlación.

Tamaño de las partículas. La distribución del tamaño de las partículas de los “grits” de ulluco y quinua y de las mezclas respectivas se presenta en el Cuadro 4.

Se puede observar que los grits de ulluco presentan gran proporción de partículas finas, de hasta 17.59 % que pasa en malla N° 35. Por suerte, el 70 % de quinua que participa en la mezcla, la cual no requiere de molienda previa, contrarresta esta proporción de finos por presentar una granulometría mucho más uniforme (97.04 % retenida en malla N° 16).

Como refieren Mercier *et al.* (1998), el tamaño de partícula del producto a extruir es relevante para el procesamiento. Es recomendable que las partículas no sean muy pequeñas pues éstas funden rápidamente y no tienen buenas propiedades de transporte. La mezcla de ulluco-quinua se presenta ya más homogénea y experimentalmente ha sido posible observar que no se

Cuadro 2. Granulometría del ulluco seco y molido

Número de tamiz	% de retención
N° 10	5.09
N° 16	22.23
N° 18	11.03
N° 20	14.60
N° 30	24.59
N° 35	4.87
Cazoleta	17.59

Cuadro 3. Análisis antes y después del lavado de quinua

Análisis de saponinas antes del lavado	0.083 %
Rendimiento del lavado	88.7 %
Análisis de saponinas después del lavado	0.0 %

Cuadro 4. Granulometría de la quinua

Número de tamiz	% de retención
N° 10	0.53
N° 16	97.04
N° 18	2.09
N° 20	0.30
Cazoleta	0.04

presentan problemas de transporte, por lo menos dentro de los parámetros trabajados.

Harper (1981), refiere para los "grits" de maíz que la granulometría ideal es de 1.41 mm. Tamaños de partícula mayores son inadecuados según este autor. Pero en general refiere y refuerza lo que afirma Mercier *et al.* (1998), cuando dice que son mejores las partículas de mayor tamaño (hasta el límite ya mencionado) puesto que retrasan la gelatinización hasta justo antes de salir del dado, haciendo más fácil su transporte.

En el Cuadro 5 se presenta la composición del ulluco seco y molido.

Proceso de extrusión de la mezcla ulluco-quinua.

Para llevar a cabo el proceso de extrusión de la mezcla ulluco-quinua, se determinó mediante pruebas preliminares que el contenido máximo permitido de ulluco era de 30 %. La granulometría desuniforme y la falta de dureza de los "grits" ocasionan que con más de 30 % de ulluco la mezcla se pegue a la pared del cilindro del extrusor, impidiendo el avance y el proceso en sí.

Para llevar la mezcla al contenido de humedad idóneo, primero se calcula la cantidad de agua a agregar de acuerdo a la cantidad de la mezcla a extruir. Esta cantidad de agua se agrega a la quinua y se agita hasta obtener una mezcla uniforme, y seguidamente se agrega el ulluco.

Se ha llevado a cabo un experimento con la finalidad de encontrar los parámetros adecuados para el proceso de extrusión de esta mezcla. Se probaron porcentajes de humedad de 11 %, 13 % y 15 %, 2 y 4 orificios en el dado de salida del extrusor y dos velocidades de rotación del tornillo de 254 y 389 r.p.m. (velocidades baja y alta) lo cual representó 12 tratamientos que se analizaron factorialmente.

Cuadro 5. Composición de Ulluco seco y molido

Componente	Ulluco Seco
Humedad (%)	8.8
Grasa (%) b.s. *	1.4
Proteína Cruda (%) (f=6.25) b.s.	9.4
Fibra Cruda (%) b.s.	2.9
Cenizas (%) b.s.	4.3
Almidón (%) b.s.	69.8
Azúcares Reductores (%) b.s.	23.7
Lisina Disponible (g/100g prot)	3.74

* b.s. = Base seca

Se analizaron el Grado de Gelatinización, el Índice de Solubilidad en Agua, el Índice de Expansión, el Índice de Absorción de Agua y la Densidad como variables respuesta. Se obtuvo como mejor tratamiento y como parámetros de trabajo, 11 % de humedad de alimentación, 2 orificios de salida y 389 r.p.m. de velocidad de tornillo.

La resistencia eléctrica se enciende para calentar el extrusor, al inicio, hasta 200 °C (temperatura del cilindro de la porción más cercana a la salida) y se apaga justamente antes del inicio, para que la temperatura se mantenga sólo por fricción interna. El tornillo es llenado por inundación, separando aproximadamente los 100 primeros gramos que se obtengan. Se reciben los extruidos en bolsas de tela en un soporte con marco de hierro. El proceso de extrusión de la mezcla se presenta en la Figura 7.

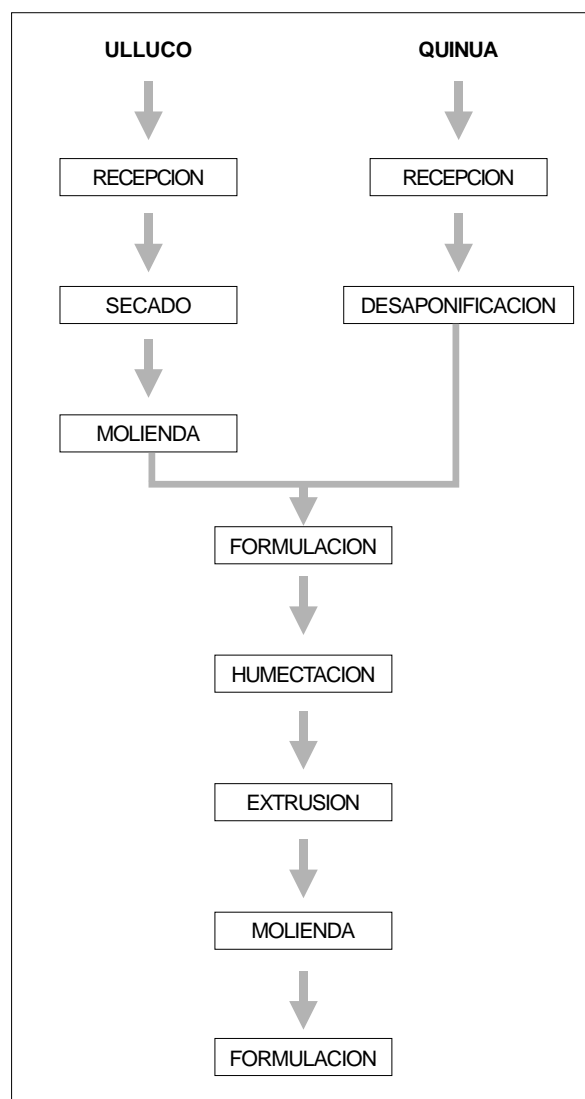


Figura 7. Procesamiento de la mezcla extruida.

Evaluación de la mezcla extruida y formulación del producto final. La mezcla extruida fue sometida a análisis proximal, determinación de azúcares reductores, lisina disponible y digestibilidad *in vitro* de las proteínas. En el Cuadro 6, se presentan los resultados de estos análisis, la composición proximal de la mezcla ulluco-quinua antes y después del proceso de extrusión.

A continuación se discute el efecto de extrusión sobre los componentes de la mezcla.

El contenido de humedad de la mezcla cayó de 6.98 % a 3.9 %. Se observó un descenso importante en el nivel de humedad por la súbita caída de presión del material al salir del dado, lo cual genera un alto grado de evaporación del agua y también produce la expansión característica de los productos extruidos.

Es importante conocer el porcentaje de proteínas de la materia prima puesto que las proteínas también juegan un papel importante en el grado de gelatinización, ya que al competir por el agua con el almidón puede hacer que éste se reduzca. También puede limitar el Índice de Expansión pues incrementa la capacidad de retención de agua, reduciendo la evaporación lo cual favorece al Índice de Expansión (Kokini *et al.*, 1992).

El nivel de proteínas de 14.10 % (b.s.) para quinua-ulluco no afectó el Grado de Gelatinización, como lo demuestran los altos resultados obtenidos, habiéndose alcanzado valores muy cercanos al 100 %. Con respecto al Índice de Expansión, los valores alcanzados son normales (2.63–3.00) y comparables con otras investigaciones. Hodson de Jaranillo (1996), obtuvo para un producto extruido–expandido de quinua (100 %), un Índice de Expansión de 2.28 y 2.44 (trabajados a 19 % y 11.6 % de humedad respectivamente) y manteniendo el resto de parámetros constantes.

Cuadro 6. Composición de la mezcla Ulluco-Quinua y extruido final

Componente	Mezcla base	Mezcla extruida
Humedad (%)	6.98	3.90
Grasa (%) b.s.*	5.32	3.97
Proteínas (f=6.25) (%) b.s.	14.10	13.10
Fibra cruda (%) b.s.	3.52	3.05
Cenizas (%) b.s.	2.78	3.03
Almidón (%) b.s.	69.54	66.79
Azúcares reductores (%) b.s.	10.84	9.89
Lisina disponible (g/100 g prot)	4.10	3.07
Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas (%)		78.75

* b.s. = Base seca

El contenido de proteínas del material extruido fue de 13.10 %. Esta reducción del contenido proteico, que originalmente era de 14.10 %, hace suponer que se producen reacciones entre las proteínas y otros constituyentes de la mezcla (azúcares reductores, lípidos).

El porcentaje de almidón y la composición del producto a extruir son sumamente importantes pues el contenido de almidón se relaciona directamente con el Índice de Expansión (Mercier *et al.*, 1998). En el caso de la mezcla a extruir cuenta con un contenido de almidón de 69.54 % (b.s.) (Cuadro 6). Este porcentaje en el concepto de Mercier *et al.* (1998), se encontraría por encima del límite inferior para poder obtener un producto expandido. El autor menciona que el porcentaje mínimo para expandir es de 60-70 % y que en general el Índice de Expansión depende del porcentaje de almidón. Así, este autor encontró que con almidones puros se consiguió hasta un Índice de Expansión de 5 y una reducción proporcional en este mismo parámetro cuando disminuye el porcentaje de almidón de la materia prima, tal como lo muestra el Cuadro 7.

En cuanto a la variación de los porcentajes de almidón entre la materia prima y el producto final se nota que existe una ligera diferencia de casi 3 %. Esta mínima reducción podría deberse a la formación de compuestos de bajo peso molecular, aunque la diferencia es tan pequeña que podríamos decir que casi no ocurren cambios en el porcentaje de almidón antes y después de la extrusión, tal como lo afirman Mercier y Feillet (1975), quienes señalan que no hay formación de oligosacáridos cortos ni monosacáridos y que no ocurre termólisis, pues el tiempo de residencia es muy corto. Para que ocurra una alta reducción debería haber formación de oligosacáridos de bajo peso molecular o monosacáridos, pero no los hay pues se necesitaría mayor tiempo de procesamiento.

Cuadro 7. Relación entre el contenido de almidón y el Índice de Expansión

	% almidón	Índice de Expansión (%)
Almidones puros	100	500
Granos enteros	65 – 78	400
Mezclas alimenticias		
para mascotas	40 – 50	200 – 300
Semillas oleaginosas	0 – 10	150 – 200

Fuente: Mercier *et al.*, 1998.

Como acotación se menciona un aspecto que puede ser beneficioso en el uso de tubérculos (o almidones de los mismos), pues la amilosa de estos es más amorfa que en cereales por lo que producen pastas más fibrosas y livianas. Cuando están gelatinizados y se rehidratan proveen suavidad al producto (Mercier *et al.*, 1998).

El nivel de grasa que ostenta la materia prima es de 5.32 % (b.s.) (Cuadro 6). La influencia de los niveles de grasa en los productos a extruir es comentada por Mercier *et al.* (1998), quienes afirman que el Índice de Expansión de un producto puede incrementar hasta un contenido de grasa de 5 %; después de este valor se observa una rápida caída aunque los efectos adversos podrían controlarse manejando la humedad y temperatura final. Según esto la mezcla ulluco-quinua se encontraría alrededor de este límite lo que podría hacer suponer que el Índice de Expansión hubiera sido menor de tenerse mayores o menores niveles de grasa. Al observar el Cuadro 6, se tiene un contenido final de grasa de 3.97 %, lo cual nos hace ver un importante descenso, debido probablemente a que las grasas suelen formar complejos con la proteína y el almidón (Kokini *et al.*, 1992), lo cual de otro lado evita la peroxidación y prolonga la conservación.

El contenido de fibra es importante porque afecta algunas propiedades físicas y sensoriales de los extruidos. Un aumento en el contenido de fibra produce extruidos más densos, orificios más grandes, un color más oscuro y puede también conferir sabor amargo. Desde el punto de vista del procesamiento, un producto con más fibra requiere más fuerza (energía) para ser extruido (Anderson *et al.*, 1981).

El nivel de fibra de la mezcla estudiada es relativamente elevado, de 3.52 % (b.s.) (Cuadro 6). Este valor está por debajo del límite máximo permitido por el Codex Alimentarius (1994), de 5 % para niños pequeños. Como referencia, otros productos comúnmente extruidos como los grits de maíz y la harina de soya desgrasada tienen un porcentaje de 0.2–0.4 y 3 %, respectivamente. Sin embargo, no se observó en nuestro proceso algún efecto negativo debido a la fibra, salvo por un color oscuro de los extruidos.

En el Cuadro 6, vemos que el contenido de azúcares reductores se disminuye durante el proceso de extrusión de 10.84 a 9.89 %. Si bien varios autores afirman que durante la extrusión no hay degradación del almidón a compuestos moleculares de bajo peso molecular como oligosacáridos cortos o monosacáridos (Mercier y Feillet, 1975), porque el corto tiempo de procesamiento (10–25 segundos) no lo permite, existen otros como Mercier *et al.* (1998), que afirman que se puede producir

hidrólisis enzimática del almidón por inactivación incompleta de enzimas amilolíticas durante el tratamiento térmico, lo que incrementa el porcentaje de estos compuestos.

Según Casas (1996), no debería usarse el término gelatinización al estado final del almidón después de procesarse mediante cocción-extrusión (a humedades menores a 20 %) pues lo que realmente ocurre es dextrinización.

La reducción del contenido de azúcares reductores en el producto final con respecto a la materia prima se debe a reacciones de oscurecimiento como la Reacción de Maillard, la cual se da siempre que coexisten azúcares reductores y proteínas especialmente a altas temperaturas, bajas actividades de agua y tiempos de almacenamiento prolongados. Las dos primeras, altas temperaturas y baja actividad de agua son condiciones de nuestro proceso. Estas reacciones no sólo dan lugar a la reducción de azúcares sino a la pérdida de aminoácidos esenciales. El producto resultante se torna marrón exhibiendo así la formación de compuestos coloreados por la reacción antes mencionada.

El aminoácido lisina ha sido cuantificado como indicador del daño proteico durante el procesamiento. En general la digestibilidad proteica disminuye ante condiciones de cocción-extrusión severas, viéndose reducida la disponibilidad de aminoácidos. El principal mecanismo de este efecto es la Reacción de Maillard, en la que se reduce en particular la disponibilidad de lisina debido a que es el aminoácido más reactivo (Mercier *et al.*, 1998), reaccionando con los azúcares reductores presentes en el alimento. La pérdida de lisina en este caso es de 4.10 a 3.07 g/100 g de proteína. Para la mezcla de ulluco-quinua. Este valor significa una pérdida de 25 %. En otros procesos, como es el tostado o secado por tambor, las pérdidas de lisina disponible son mucho mayores.

En el Cuadro 6, se observa que el extruido de la mezcla ulluco-quinua obtuvo 78.75 % de digestibilidad de proteínas. Al producirse la gelatinización en el proceso de extrusión se abren las estructuras proteína-almidón, lo que favorece la digestibilidad proteica, además de desnaturalizarse las proteínas y destruirse los inhibidores de proteasa debido a las altas temperaturas (Hsu *et al.*, 1977). Los valores de digestibilidad del presente estudio fueron cercanos al de los extruidos de maíz estudiados por Hsu *et al.* (1977), de 81.9 %, pero menores al de la caseína de 89.01 % (patrón de comparación utilizado).

En la Figura 8. se presenta una fotografía de la mezcla extruida.



Figura 8. Producto extruido (mezcla de ulluco con la quinua) antes de la molienda.

Molienda y formulación. Finalmente, los extruidos recibidos al final del proceso son molidos, y se formula con Leche en polvo, concentrado de soya, grasa vegetal y azúcar, para lograr los parámetros del Codex Alimentarius (1994) de “Directrices sobre Preparados Alimenticios Complementarios para Lactantes de más Edad y Niños Pequeños”.

El azúcar se utiliza para aumentar la densidad calórica y además otorgarle sabor al producto, la grasa vegetal para aumentar el contenido graso calorías, y la leche en polvo y el concentrado de soya para alcanzar el nivel y composición de proteínas adecuado. A pesar que la soya posee más proteínas, su grado de utilización es menor que la leche debido a su alto costo y al mal sabor que puede otorgar al producto. Como se observa en el Cuadro 8, la mezcla cumple con los requisitos del Codex Alimentarius 1994 en cuanto al contenido mínimo de proteínas, kilocalorías, grasa y fibra.

A diferencia de otras tecnologías de procesamiento que requieren de equipos sofisticados y muchas veces costosos, la tecnología de extrusión de bajo costo ofrece múltiples ventajas para el procesamiento de raíces y tubérculos andinos: es de fácil manejo y mantenimiento, característica importante en localidades rurales aisladas

en las cuales no siempre se pueden encontrar talleres de reparación de equipos; es eficiente, permitiendo un método de cocción bastante rápido con el consiguiente ahorro de energía. Además, permite que se conserve bien el valor nutricional de los alimentos. Por estas razones las tecnologías de deshidratación y extrusión para el procesamiento de mezclas alimenticias pueden ser fácilmente aplicadas en pequeñas empresas agroindustriales en la sierra, con la ventaja adicional de que siendo una tecnología de bajo costo y alta versatilidad, puede permitir el procesamiento de una amplia gama de materias primas locales. Ello hace factible la obtención de una gran variedad de productos finales los cuales pueden destinarse para diferentes tipos de mercados.

Referencias bibliográficas

- Alvarez, M.; R. Repo 1999. Desarrollo de Productos de Papas Nativas. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 108 p.
- Andersson, Y.; B. Hedlund; L. Jonsson; S. Svensson. 1981. Extrusion cooking of a high fiber cereal product with crispbread character. *Cereal Chemistry* Vol. 58 (5): 370-374.
- Arbizu, C.; M. Hermann. 1993. Algunos factores limitantes. En: Anales del Taller Internacional sobre el Agroecosistema Andino. 30 de marzo al 2 de Abril de 1992. Lima, Perú.
- Arbizu, C.; M. Tapia. 1992. Tubérculos Andinos. En: J.E. Hernández y J. León (eds.). *Cultivos Marginados: Otra perspectiva de 1492*. FAO/ Jardín Botánico de Córdoba. España. p. 147-161.
- Casas, J. 1996. Evaluación de los parámetros de extrusión de una mezcla de harinas de habas y maíz usando el método de Superficie de Respuesta. Tesis M. Sc.:

Cuadro 8. Composición de la mezcla enriquecida de Ulluco-Quinua

	Leche en Polvo (10 g)	Concentrado de Soya (3.65 g)	Azúcar (5 g)	Grasa (7.2 g)	Enriquecido Ulluco – Quinua (100g)	Codex Alimentarius 1994
Proteínas (%)	27.1	84.0			15.0	15 mínimo
Grasa (%)	29.5	3.4		100.0	10.0	10-25
CHO (%)	35.0	1.9	100.0		66.9	
Fibra (%)	0.0	2.3			1.7	5 máximo
Ceniza (%)	1.0	3.5			2.3	
Humedad (%)	7.4	4.9			3.8	
Energía (kcal./100g)	5.1	374.2	400.0	900.0	498.1	400 mínimo

- Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 110 p.
- Cisneros, F. 2000. Extrusión de Alimentos. Curso de Extensión. Universidad San Ignacio de Loyola. Lima, Perú. p. 43.
- Codex Alimentarius. 1994. Directrices sobre Preparados Alimenticios Complementarios para Lactantes de más Edad y Niños Pequeños. Vol. 4.
- Cortez, H. 1987. Avances de la investigación en tres tubérculos andinos: oca (*Oxalis tuberosa*), ulluco (*Ullucus tuberosus*), maswa, isaño o aña (*Tropaeolum tuberosum*). En: Serie Informes Técnicos. Avances en las Investigaciones sobre Tubérculos Alimenticios de los Andes. Instituto de Investigación Agraria y Agroindustrial, Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional.
- Cruz, E.; D. Tobar. 1998. Elaboración artesanal de mermeladas a partir de raíces y tubérculos andinos. Folleto 1. Programa Colaborativo de Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. Centro Internacional de la Papa, Corporación Ambiente y Desarrollo. Ambato, Ecuador. 20 p.
- Harper, J.M. 1981. Extrusion of Foods. Volumes I and II. CRC Press Inc. Florida, USA. 304 p.
- FAO/OMS. 1985. Necesidades de energía y proteínas. Serie de Informes Técnicos 724. OMS, Ginebra.
- Hermann, M.; J. Heller. 1997. Andean Roots and Tubers: Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon. International Plant Genetic Resources Institute. p. 84-110.
- Hodson de Jaranillo, E. 1996. Procesamiento y Conservación de Alimentos en América Latina. COLCIENCIAS. Bogotá, Colombia.
- Hsu, H.W.; D.L. Vavak; L.D. Satterlee; G.A. Miller. 1977. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. Institute of Food Technologies. USA. Journal of Food Science Vol. 42 (5): 1269-1273.
- Intermediate Technology Development Group. 1998. Técnicas de secado. Libro de consulta sobre tecnologías aplicadas al ciclo alimentario. Intermediate Technology Development Group, UNIFEM. Cooperación Española.
- King, S. 1988. Economic Botany of the Andean Tuber crop Complex: *Lepidium meyenii*, *Oxalis tuberosa*, *Tropaeolum tuberosum* and *Ullucus tuberosus*. Doctoral Thesis. The City University of New York, USA. p. 118-193.
- King, S.; S. Gershoff. 1987. Nutritional evaluation of three underexploited Andean tubers: *Oxalis tuberosa* (Oxalidaceae), *Ullucus tuberosus* (Basellaceae) and *Tropaeolum tuberosum* (Tropaeolaceae). Econ. Bot. 41(4): 503-511.
- Kokini, J.L.; H. Chi-Tang M. Karwe. 1992. Food Extrusion Science and Technology. State University of New Jersey. 740 p.
- León, J. 1964. Plantas Alimenticias Andinas. Boletín Técnico No. 6. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, OEA. Zona Andina. Lima, Perú.
- Mercier, C.; P. Feillet. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. American Association of Cereal Chemists Inc. USA. Vol. 52 (3): 283-297.
- Mercier, C.; P. Linko; J.M. Harper. 1998. Extrusion Cooking. American Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota, USA. 471 p.
- Miller, R.C. 1990. Manual de Extrusión. Asociación Americana de Soya. New York-EUA. 48 p.
- National Research Council. 1989. Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation. National Academy Press, Washington, DC. 415 p.
- Programa Colaborativo de Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. 1996. Memorias 1994-1995. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 370 p.
- Repo-Carrasco, R. 1998. Introducción a la Ciencia y Tecnología de Cereales y de Granos Andinos. Edición Agraria. Lima, Perú. 137 p.
- Salas, F. 1998. Procesamiento de Raíces y Tubérculos Andinos. Manual de Capacitación. Centro Internacional de la Papa. p. 22-28.
- Tapia, M. 1997. Cultivos Andinos Subexplotados y su Aporte a la Alimentación. Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. FAO. Santiago, Chile. 205 p.



Publicaciones de la Serie

Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos:

Una década de investigación para el desarrollo (1993- - 2003)

Editores de la Serie: Michael Hermann, CIP Oscar A. Hidalgo, Agro Consult Int.

-
- 1 Manejo sostenible de la agrobiodiversidad de tubérculos andinos: Síntesis de investigaciones y experiencias en Bolivia
 - 2 Conservación in situ de la agrobiodiversidad de la oca en el altiplano Peruano (CD)
 - 3 El cultivo del ulluco en la sierra central del Perú**
 - 4 Raíces y tubérculos andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador
 - 5 Catálogo de variedades locales de papa y oca en la zona de Candelaria
 - 6 Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación
 - 7 El potencial económico de tecnologías de producción y comercialización del ulluco
-