

Alternativas para la **generación de valor** **agregado** en los cultivos de

Mango y Quinúa

Nidia Casas Forero



**Alternativas para
la generación de valor
agregado en los cultivos de**

**Mango
y Quinúa**

Editora:
Nidia Casas Forero

© 2016

Alternativas para la generación de valor agregado en los cultivos
de Mango y Quinoa

ISBN: 978-958-59538-4-0

Diagramación e impresión:
Editorial Kimpres S.A.S.
PBX: 413 6884
Bogotá, D.C., Diciembre 2016

Contenido

Prólogo	11
1. <i>Introducción</i> <i>Nidia Casas Forero</i>	13
2. Manejo de cultivo y poscosecha de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) <i>Nidia Casas Forero, Sandra Patricia Cote Daza</i>	17
3. Manejo de cosecha y poscosecha de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) <i>Diana Cristina Moncayo Martínez, Nidia Casas Forero</i>	57
4. Usos potenciales de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en la industria alimentaria <i>Nidia Casas Forero, Sandra Patricia Cote Daza, Diana Cristina Moncayo Martínez, Gloria Helena González Blair</i>	81
5. Usos potenciales del mango (<i>Mangifera indica</i> L.) en la industria <i>Diana Cristina Moncayo, Sandra Patricia Cote Daza, Mary Luz Olivares Tenorio</i>	103
6. Equipos empleados en el procesamiento del mango y la quinua <i>Gloria Helena González Blair, Pedro Alejandro García Ávila</i>	117

7. Evaluación de las condiciones de proceso para la obtención de una bebida de mango (*Mangifera indica* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)
Nidia Casas Forero, Yury Natalia Salgado 145
8. Evaluación de la elaboración de un snack de mango (*Mangifera indica* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)
Nidia Casas Forero, Noralda Díaz Espíndola 159

Contribuyentes

NIDIA CASAS FORERO

Docente del programa de Ingeniería de Alimentos de UNIAGRARIA
Grupo de investigación conservación de frutas y hortalizas
casas.nidia@uniagraria.edu.co

MARY LUZ OLIVARES TENORIO

Directora programa de Ingeniería de Alimentos de UNIAGRARIA
Grupo de investigación biotecnología UNIAGRARIA
olivares.maryluz@uniagraria.edu.co

DIANA CRISTINA MONCAYO

Docente del programa de Ingeniería de Alimentos de UNIAGRARIA
Grupo de investigación conservación de frutas y hortalizas
moncayo.diana@uniagraria.edu.co

SANDRA PATRICIA COTE

Docente del programa de Ingeniería de Alimentos de UNIAGRARIA
Grupo de investigación biotecnología UNIAGRARIA
cote.sandra@uniagraria.edu.co

GLORIA HELENA GONZÁLEZ BLAIR

Docente del programa de Ingeniería de Alimentos de UNIAGRARIA
Grupo de investigación biotecnología UNIAGRARIA
gonzalez.gloria@uniagraria.edu.co

PEDRO ALEJANDRO GARCÍA ÁVILA

Docente del programa de Ingeniería de Alimentos de UNIAGRARIA

Grupo de investigación conservación de frutas y hortalizas

garcia.pedro@uniagraria.edu.co

YURY NATALIA SALGADO

Joven investigadora del programa de Ingeniería de Alimentos de UNIAGRARIA

salgado.yury@uniagraria.edu.co

NORALDA DÍAZ ESPÍNDOLA

Joven investigadora del programa de Ingeniería de Alimentos de UNIAGRARIA

diaz.noralda@uniagraria.edu.co

Prólogo

El departamento de Cundinamarca, ubicado sobre la cordillera Oriental, cuenta con una gran biodiversidad y con variedad de pisos térmicos y suelos fértiles de vocación agropecuaria. Su ubicación estratégica junto con la capital del país como su epicentro, ofrecen un sólido potencial económico, comercial y de desarrollo tecnológico, así como oportunidades de negocio y de progreso para los productores agropecuarios del departamento.

Con estas condiciones es necesario impulsar la innovación e investigación de las cadenas productivas presentes para generar valor agregado a los productos y así construir un sector más competitivo y acorde con las condiciones comerciales actuales, que exigen ser cada vez más eficientes en todas las etapas, desde la producción primaria, hasta la transformación y comercialización.

Uno de los cultivos más significativos en el departamento, por su extensión, es el de mango. Cundinamarca cuenta con más de diez mil hectáreas sembradas, ocupando el primer lugar en área sembrada en el país. Sin embargo, el sector ha enfrentado grandes retos como la alta variabilidad en el precio del producto en fresco y la falta de tecnificación y manejo de la poscosecha, lo que se traduce en la necesidad de abrir canales de comercialización y alternativas de transformación para generar valor agregado.

De otra parte, en Cundinamarca también se fomenta el cultivo de la quinua, un cultivo promisorio que ha sido catalogado como uno de los alimentos del futuro según la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la

Agricultura (FAO), debido a sus características nutritivas y alimenticias, y que encuentra en el departamento las condiciones aptas para su aprovechamiento masivo sin perder sus cualidades naturales, del cual ya se cuenta con cerca de doscientas hectáreas establecidas.

En concordancia con esto, la Gobernación de Cundinamarca a través de la secretaría de Ciencia Tecnología e Innovación, mediante convenio N° 008 de 2015 con la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC), la Fundación Universitaria Agraria de Colombia (Uniagraria) y diferentes asociaciones de productores de la región, han desarrollado este documento que exalta las cualidades nutricionales del mango y de la quinua, y de una manera innovadora y con fundamento investigativo, los combina y complementa para dar origen a nuevas alternativas de producción y de negocio para los cultivadores.

Sirva este como el espacio propicio para enviar un especial agradecimiento a quienes participaron en la elaboración de esta publicación y a la vez una voz de aliento y admiración para esos miles de campesinos quienes con su trabajo diario aportan al desarrollo, bienestar y construcción de una verdadera PAZ en el departamento de Cundinamarca.

Con enorme afecto,

JORGE EMILIO REY ÁNGEL
Gobernador de Cundinamarca

1. Introducción

Nidia Casas Forero

El mango (*Mangifera indica* L.) es una fruta muy apetecible en el ámbito mundial por sus agradables características sensoriales, sobre todo es una fuente importante de fibra, vitaminas y compuestos bioactivos con actividad antioxidante como la vitamina C, vitamina E, polifenoles y carotenos (Sumaya-Martínez et al., 2012). De acuerdo con los reportes del Ministerio de Agricultura, en Colombia se cultiva el mango principalmente en los departamentos de Cundinamarca, Tolima, Magdalena, Antioquia, Atlántico, Bolívar y Córdoba, con una participación de 35%, 25%, 8%, 7%, 6%, 5,9% y 5% respectivamente y una producción total para el año 2015 que corresponde a 318.628,48. El cultivo de mango ocupa el cuarto lugar en el nivel de producción de frutales en Colombia con un 5,4% de participación, después del banano, piña y cítricos, lo cual lo hace un cultivo importante para la economía del país.

Parte del mango se comercializa en fresco para consumo en el ámbito nacional o para exportaciones. Estas últimas se ven limitadas por el problema de la mosca de la fruta, para lo cual se deben fortalecer las acciones en temas de manejo de cultivo. Otra parte de la fruta es empleada por la industria alimentaria en la elaboración de productos como pulpas, bebidas, productos deshidratados y productos gelificados, principalmente mermeladas y jaleas; estos procesos generan en la industria un nivel de residuos alto, debido a que el fruto está constituido por un 79% de pulpa, 10% de cáscara y 11% de semilla del peso total de la fruta (Carreño et al., 2011), lo cual indica que hay un 21% de materia prima que no se utiliza. Varios estudios indican el potencial

que tienen estos residuos para ser aprovechados en la obtención de nuevos ingredientes como compuestos de carácter fenólico, pectinas, fibra dietética y aceites esenciales que pueden ser incorporados en matrices alimentarias para enriquecer el valor nutricional de los alimentos.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), por su parte, es un pseudocereal de la región Andina con alto valor nutricional relacionado principalmente por su contenido de proteínas. Es un producto que en el ámbito mundial se cultiva principalmente en la región de los Andes, siendo los mayores productores los países de Bolivia, Perú y Ecuador. En Colombia fue un cultivo con altos niveles de producción que se había dejado de cultivar. No obstante, desde hace 5 años por acciones de entidades públicas y privadas, se ha incentivado el cultivo propiciando acciones encaminadas a reimplantar de nuevo la quinua en Colombia. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura en su reporte de la evaluación agropecuaria 2014 – 2015, se estima que en Colombia hay una área sembrada de 1.900 ha con un rendimiento promedio de 1.5 t/ha, para un producción total de 2.800 toneladas en el ámbito nacional. Las zonas de producción más representativas son los departamentos de Cauca, Nariño, Boyacá y Cundinamarca, con una participación del 46%, 25%, 5% y 3% respectivamente. Se tiene un consumo per cápita de 0,161 kg/año, el cual es muy bajo en comparación con los otros países productores como Perú y Bolivia, los cuales alcanzan valores de 3.2 y 1.4 aproximadamente.

La importancia de la quinua en el mundo radica en que es un cereal de alto valor nutritivo y rico en proteínas y micronutrientes. La quinua es el único alimento de origen vegetal que tiene todos los aminoácidos esenciales, oligoelementos y vitaminas, y es capaz de adaptarse a diferentes ambientes ecológicos y climas. Es resistente a la sequía, los suelos pobres y la elevada salinidad; se puede cultivar desde el nivel del mar hasta una altitud de 4.000 m y puede soportar temperaturas entre -8 y 38 °C (Dueñas, 2014); lo cual lo hace un producto que puede desempeñar un papel importante en la erradicación del hambre, la desnutrición y la pobreza.

La quinua en Colombia se comercializa en el ámbito nacional e internacional, aun cuando el nivel de exportaciones de la quinua tanto en grano como transformada es muy poco. El grano en fresco es consumido en los hogares a través de su incorporación en las preparaciones de sopas, arroces y ensaladas,

con el fin de darle un mayor valor nutricional a estos platos. Los productos transformados que se producen actualmente, se pueden agrupar en las siguientes líneas de procesamiento: panificación, bebidas alcohólicas, cereales de desayuno, galletería, pastas, barras de cereal y productos insulfados.

Para aprovechar al máximo cada una de estas materias primas es importante entender y conocer las condiciones apropiadas para el manejo de su cultivo y las tecnologías de poscosecha que se deben emplear para garantizar su calidad fisiológica y nutricional. En los capítulos 2 y 3 de este libro se indican las condiciones de manejo del cultivo, cosecha y poscosecha de la quinua y el mango, de manera que al aplicar estas recomendaciones se puedan reducir los niveles de pérdida de producto en esta etapa crítica de la cadena de producción.

Teniendo una materia prima con una calidad adecuada, se debe buscar extender su vida útil, para lo cual se pueden emplear diferentes alternativas de procesamiento apropiadas a la matriz alimentaria a trabajar, por tanto, en los capítulos 4 y 5 se presentan los usos potenciales de la quinua y el mango en la elaboración de productos, así como el aprovechamiento de los residuos que se pueden obtener del procesamiento del mango. Es importante tener en cuenta que todo proceso de transformación requiere de equipos, en el capítulo 6 se hace una presentación de los equipos involucrados en las líneas de transformación de la quinua y el mango.

En los capítulos 7 y 8 se presentan los resultados de la investigación realizada a través del proyecto *Obtención de productos con base en quinua y mango* ejecutado por el programa de Ingeniería de Alimentos de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia – UNIAGRARIA, en el que se indican las condiciones de procesamiento de dos productos, una bebida y un snack, que utilizan como materias principales la quinua y el mango. Los productos obtenidos están enmarcados dentro de las líneas de tendencia de los consumidores, que son los productos saludables con altos valores nutricionales y listos para su consumo.

El desarrollo del proyecto, la elaboración y publicación de este libro, se logró con la cofinanciación de la Gobernación de Cundinamarca a través de la secretaria de Ciencia, Tecnología e Innovación, la asociación colombiana para el avance de la Ciencia y la Fundación Universitaria Agraria de Colombia – UNIAGRARIA, instituciones a las cuales los autores expresan sus agradecimientos.

2. Manejo de cultivo y poscosecha de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)

*Nidia Casas Forero
Sandra Patricia Cote Daza*

2.1 Introducción: la importancia de la quinua y su nivel producción nacional e internacional

De acuerdo con Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2011), la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es originaria de la región de los Andes, cuna de grandes civilizaciones como la Incaica y Tiahuanacota, la misma que durante miles de años fue el principal alimento de estas culturas antiguas de los Andes y que está distribuida en diferentes zonas agroecológicas de la región. En las tierras altas de México también se cultivó una quenopodiácea, el *Chenopodium nuttalliae*, denominado “huautli”, que tiene gran similitud con la quinua (Hunziker, 1952, en Tapia et al., 1979). Aparentemente su importancia en el Imperio Azteca era grande, según se deduce del código de Antonio Mendoza, primer Virrey de México entre los años 1535 y 1550, allí se indican los tributos en granos que cada uno de los 363 pueblos vasallos del Imperio Azteca pagaban.

Según Murra (1975) en Tapia et al. (1979), en el siglo XVI la producción de quinua tenía una gran importancia en la sierra central del Perú. Por otra parte, Nunez (1970) relata que no se conoce bien cómo fueron domesticadas la quinua y la papa. Sin embargo, por hallazgos en el norte de Chile (complejo

Chinchorro), el autor señala que al menos la quinua fue utilizada antes del año 3.000 a.C., por los hallazgos en el área de Ayacucho, Perú. A su vez Uhle (1919) da una fecha incluso anterior, 5.000 años a.C., como el inicio de la domesticación de esta planta.

Según Tapia et al. (1979), numerosas fuentes relatan que a la llegada de los españoles a esa región, los “colcas” o depósitos de alimentos tenían grandes cantidades de grano de quinua. Con relación a los nombres regionales de la quinua, Robledo citado por Pulgar Vidal (1954) en Tapia et al. (1979), especifica que los Chibchas (Colombia) la denominaron “pasca” que significa “la olla o comida del padre”. El nombre “suba” o “supha” en idioma chibcha, se utilizaba como nombre primitivo de la quinua en el área de Bogotá, y se relaciona con el término aimará de “hupha” utilizado en algunas regiones de Bolivia. En el resto del territorio que ahora es Colombia, se había generalizado con el nombre quechua (quinua), pero en Cundinamarca el nombre indígena era “parca” (Tapia et al. 1979).

Actualmente, se viene presentando un incremento en las hectáreas que se siembran de quinua, debido principalmente a su reconocimiento como un alimento con altas cualidades nutricionales. De acuerdo con Bergesse et al. (2015), se está buscando la revalorización de las culturas ancestrales, por lo cual, la producción de este grano en pequeñas explotaciones campesinas y la oferta del producto de tipo orgánico, hacen que se incremente su producción y, por tanto, su consumo sistemático en la demanda del mercado en Colombia e internacionalmente.

Principales países productores de quinua

En los últimos años se constata un progresivo aumento de la producción de quinua según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI, 2012). Esto se observa en los datos consultados en la base de información de la FAO (FAOSTAT) en relación a la producción de los principales países productores de este pseudocereal (Bolivia, Ecuador y Perú), los cuales en conjunto pasaron de 78.700 toneladas en el año 2010 a 192.507 toneladas para el último año reportado (2014), con lo cual se presenta un incremento del 245% en la producción de quinua.

Los países que tradicionalmente han sido los principales productores, son Bolivia, Perú y Ecuador, y se estima que más del 80% de la producción mundial de quinua se concentra en esos tres países. En otros países de la región como Argentina, Chile y Colombia se registran igualmente algunas áreas de producción, pero en escala mucho menor. Lo anterior teniendo en cuenta que, según datos oficiales, en Colombia se produjo 15 toneladas en el año 2011, mientras que la producción alcanzó las 772 toneladas para el año 2014 (último año reportado por Agronet, 2016). A su vez Argentina presentó una producción de 97 toneladas para el año 2009 y 150 toneladas para el año 2011. Si se compara la producción de países como Argentina y Colombia, esta representa el 0,36% y 0,04% respectivamente, frente a las toneladas producidas por Perú en el mismo periodo.

La quinua se cultiva principalmente en países latinoamericanos. Rojas et al. (2011) relacionan las zonas productoras de quinua:

- En **Colombia** en el departamento de Nariño, en las localidades de Ipiales, Puerres, Contadero, Córdoba, San Juan, Mocondino y Pasto.
- En **Ecuador** en las áreas de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Loja, Latacunga, Ambato y Cuenca.
- En **Perú** se destacan las zonas de Cajamarca, Callejón de Huaylas, Valle del Mantaro, Andahuaylas, Cusco y Puno (altiplano).
- En **Bolivia** en el altiplano de La Paz, Oruro y Potosí y en los valles interandinos de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí y Tarija.
- En **Chile** en el altiplano chileno (Isluga e Iquique) y Concepción. También existen reportes de quinuas cultivadas en la Novena y Décima región.
- En **Argentina** se cultiva en forma aislada en Jujuy y Salta. El cultivo se amplió también hacia los Valles Calchaquíes de Tucumán.

Existen múltiples fuentes que cuantifican las hectáreas cultivadas y la producción de quinua. Según la información reportada por la FAO con relación al número de hectáreas cosechadas, Bolivia es el país con mayor cantidad de hectáreas con plantaciones de quinua, seguido por Perú, mientras que en el

último lugar se encuentra Ecuador. En el año 2014, Bolivia reportó (según datos oficiales) 173.960 ha, triplicando el número de hectáreas entre el periodo de 2009 a 2014, sin embargo, entre el periodo de 2000 a 2008 solo presentó un incremento del 14% en las hectáreas sembradas. Por su parte, Ecuador (datos basados en una metodología de imputación) contaba durante el año 2014 con 1.230 ha cultivadas.

En la tabla 1 se observa el número de hectáreas sembradas de quinua en los tres países productores, junto con los datos de Colombia (Agronet, 2016). En Argentina este cultivo no estuvo inscrito hasta 2013 en el Código Alimentario Nacional y en Chile se reportan datos según el Censo Nacional Agropecuario realizado en el año 2007, el cual describe que la superficie cultivada con quinua alcanzó 1.468 hectáreas, con una producción de 883 toneladas y un rendimiento promedio nacional de 0,6 toneladas por hectárea (Odepa, 2007).

Tabla 1. Hectáreas cosechadas

Año	Bolivia*	Ecuador*	Perú*	Colombia**
2000	36.847	1.300	28.889	
2001	37.223	650	25.601	
2002	37.817	600	27.851	
2003	38.289	1.000	28.326	
2004	38.649	918	27.676	
2005	39.302	929	28.632	
2006	42.431	950	29.947	
2007	45.454	980	30.381	45
2008	46.369	1.000	31.163	26
2009	59.924	1.100	34.026	21
2010	58.496	1.176	35.313	49
2011	63.307	1.277	35.475	35
2012	131.192	1.250	38.495	70
2013	159.549	1.250	44.868	381
2014	173.960	1.230	68.037	365

Fuente: * Datos obtenidos a partir de consulta en FAOSTAT. ** Datos obtenidos de la base de datos de Agronet

Con relación a la producción en toneladas de quinua (Tabla 2), Perú es el país que reporta mayor número de toneladas (t), presentando un incremento a partir del año 2013, con un aumento del 220% en el periodo comprendido entre los años 2010 y 2014 (114.343 t), adicionalmente se sitúa como el primer país productor de quinua en el último año del reporte, seguido por Bolivia (77.354 t) y Ecuador (810 t). Con relación a la producción de Bolivia, esta presenta un aumento en la misma proporción que Perú, mientras que Ecuador mantuvo constante su producción durante el periodo evaluado. A su vez, Argentina reporta datos para el periodo de 2009 a 2011, un aumento de la producción hasta llegar a 150 toneladas, por su parte Colombia inicia con una producción de 28 toneladas para el año 2007, mientras que en el año 2013 reporta 772 toneladas, de acuerdo con los datos registrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Producción de quinua

Año	Toneladas producidas*				
	Bolivia	Ecuador	Perú	Argentina	Colombia
2000	23.785	650	28.191		
2001	23.299	320	22.267		
2002	24.179	294	30.373		
2003	24.936	519	30.085		
2004	24.688	641	26.997		
2005	25.201	652	32.590		
2006	26.873	660	30.429		
2007	26.601	690	31.824		28
2008	27.169	741	29.867		20
2009	34.156	800	39.397	97	9
2010	36.724	897	41.079	123	22
2011	40.943	816	41.182	150	15
2012	50.874	800	44.213		72
2013	61.182	800	52.130		772
2014	77.354	810	114.343		780

Fuente: *Datos obtenidos a partir de consulta en FAOSTAT y Agronet

De acuerdo con estos datos el rendimiento de la cosecha de quinua es mayor en Perú con una productividad de 0,6 (se necesitan 0,6 ha de área cosechada para producir 1 kg de quinua), lo cual puede explicarse a partir de la variedad, fertilidad, drenaje, tipo de suelo, manejo del cultivo en el proceso productivo, factores climáticos, nivel tecnológico, control de plagas y enfermedades. Por otra parte, en Ecuador y Bolivia tienen una productividad de 1,52 y 2,25, datos obtenidos a partir del análisis del número de hectáreas cultivadas frente al número de toneladas producidas.

Por su parte, Colombia presenta una producción principalmente en los departamentos de Cauca, Cundinamarca y Nariño, siendo este último en donde se reporta el mayor rendimiento, 2,50 t/ha para el año 2014, de acuerdo con lo descrito en la Tabla 3.

Tabla 3. Quinua en Colombia

Departamento	Año	Área Cos. (ha)	Producción	Rendimiento (ha)	Participación producción nacional (%)
Cauca	2007	45,00	27,80	0,62	100,00
Cauca	2008	26,00	19,50	0,75	100,00
Cauca	2009	21,00	9,20	0,44	100,00
Cauca	2010	48,85	21,59	0,44	100,00
Cauca	2011	34,85	15,21	0,44	100,00
Cauca	2012	69,85	71,68	1,03	100,00
Cauca	2013	119,00	213,50	1,79	27,65
Nariño	2013	262,00	558,60	2,13	72,35
Cauca	2014	103,00	136,50	1,33	17,51
Cundinamarca	2014	12,00	18,00	1,50	2,31
Nariño	2014	250,00	625,00	2,50	80,18

Fuente: Agronet

De acuerdo con la Figura 1, en Colombia se presentó una producción estable entre el periodo de 2007 a 2012, sin embargo, para el año 2013 se presenta un incremento importante, ya que se producen 72 toneladas, mientras que en los años 2014 y 2015 se producen 772 y 780 toneladas respectivamente.

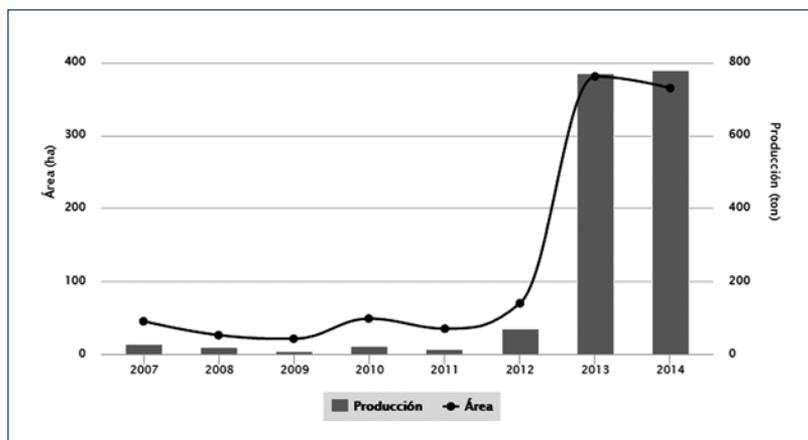


Figura 1. Área sembrada y producción de quinua en Colombia

Fuente: Agronet

2.2 Condiciones de cultivo–nuevas tecnologías de cultivo

Clasificación botánica. Hace algunos años fue reclasificada a la familia Amaranthaceae, ya que antes pertenecía a la familia Chenopodiaceae. Vidalón (1944) menciona que es una planta originaria de la Hoya del Titicaca (Perú y Bolivia), y se cultiva a partir de 2.000 a 3.800 m s.n.m., razón por la cual tolera bajas temperaturas, además de exigir muy poca agua puesto que también se puede desarrollar o cultivarse en suelos pobres. A continuación se presenta la clasificación botánica de la quinua:

Reino: Vegetal
División: Fanerogamas o Sifenagama
Clase: Angiospermas
Subclase: Dicotiledóneas
Orden: Centrospermales
Familia: Quenopodidceas
Género: *Chenopodium*
Especie: *Chenopodium quinoa* Willd

Descripción botánica. De acuerdo con Tapia & Fries (2007), la raíz es muy fibrosa y sostiene bien a la planta, solo cuando hay un exceso de humedad puede ocurrir un vuelco por efecto de vientos fuertes, esta puede alcanzar hasta 1,50 m de profundidad según los tipos de suelos. El tallo es cilíndrico y a la madurez se vuelve anguloso, la parte interna o médula es blanda en las plantas jóvenes y, es esponjosa y hueca cuando adquiere su maduración tornándose con un color crema.

En el altiplano sur puede alcanzar 1,80 m de alto. El hábito de crecimiento puede variar de un solo tallo principal a variedades con muchas ramificaciones. Las hojas son de carácter polimorfo en una sola planta; las de la base son romboides, mientras que las hojas superiores, ubicadas alrededor de la inflorescencia, son lanceoladas. La lámina de las hojas tiernas está cubierta por una pubescencia granulosa vesiculosa en el envés y algunas veces en el haz. Esta cobertura varía del blanco al color rojo-púrpura.

La inflorescencia de la quinua es racimosa y por la disposición de las flores se la denomina panoja. Existen dos tipos básicos de panoja: la glomerulada que es más densa y la amarantiforme cuando el eje glomerular nace directamente del eje principal. La inflorescencia tanto de tipo glomerulada, considerada la forma primitiva, como la amarantiforme, puede ser laxa o compacta; este carácter y la longitud de la panoja están muy relacionados al rendimiento del cultivo. Las inflorescencias densas y de mayor tamaño (70 cm) pueden llegar a un rendimiento de 220 g de granos por planta (Tapia & Fries, 2007).

Las principales variedades, cultivares y su localización

La FAO (2013) relaciona los cinco grandes grupos de quinua, especialmente por sus características de adaptación, a diferentes condiciones agroecológicas en los Andes, las cuales fueron descritas por Mario Tapia en un trabajo desarrollado en esta región:

- Las quinuas de los valles interandinos, de zonas meso térmicas.
- Las quinuas del altiplano norte del lago Titicaca que comparten Perú y Bolivia con un corto periodo de crecimiento.
- Las quinuas de los Salares en el altiplano sur de Bolivia de halófilas adaptadas a suelos salinos y con un mayor tamaño de grano.

- Las quinuas a nivel del mar de grano oscuro y menor tamaño, que se cultivan en el centro y sur de Chile.
- Las quinuas de los yungas o zona subtropical en la vertiente oriental de los Andes en Bolivia.

En las quinuas de valle hay diferencias entre aquellas que se desarrollan en valles interandinos con riego, como ocurre en Urubamba (Perú), Cochabamba (Bolivia) y entre aquellas que se cultivan en condiciones de secado como en Cajamarca, Cusco, Huaraz, valle del Mantaro, Ayacucho, Abancay. Además, existe la influencia de una mayor precipitación al norte del Perú, que se extiende por Ecuador y el sur de Colombia. En el área de Nariño (Colombia) y el norte de Ecuador existe un ecotipo de porte alto, muy ramificado, hojas de color verde claro, y grano muy blanco y dulce que dio origen a la variedad Nariño, cultivada actualmente en el Perú (Tapia, 1982).

Las quinuas del altiplano también se producen bajo condiciones variables: baja precipitación y condiciones climáticas de temperatura favorables como alrededor del lago Titicaca; o de lagunas o quebradas cercanas a ríos de donde son originarias la variedad Kcancolla, Blanca de Juli y Tahuaco. Aquellas que se adaptan a las planicies altas, a 3.900 m s.n.m., son la variedad Cheweca, Coitu, Wariponcho, Chullpi y Witulla, con panojas coloreadas y que soportan temperaturas más bajas.

En el país se cultivan diferentes variedades de quinua, las cuales se clasifican en dulces (Blanca de Jericó, Blanca de Soracá, Blanca de Chivatá, Aurora, Piartal, Tunkahuan) y amargas (Amarilla de Maranganí, Dorada de Bolivia), clasificación dada según su contenido de saponina. Las variedades más cultivadas son las dulces, por su bajo contenido de saponina.

Precipitación pluvial. La temperatura y la precipitación pluvial son determinantes en el tamaño del grano. Cuando existe una presentación abundante el grano de quinua disminuye en tamaño, también se puede decir que el color de grano se torna opaco nada característico del ecotipo; hay una deformación en la panoja, afectando su producción (PROINPA, 2005).

Semilla de quinua. La semilla de quinua es un grano pequeño generalmente redondeado, cuyo diámetro varía de 1,5 a 2,5 mm. Se debe sembrar semilla fresca y bien almacenada, con alto porcentaje de germinación y pureza. En

el país no se tiene producción de semilla certificada, se tiene producción de semilla seleccionada por el agricultor. Dado lo anterior, es conveniente comprar la semilla de una variedad adaptada a la región y realizar una prueba de germinación antes de la siembra.

Suelos y fertilización. El cultivo de quinua se da mejor en suelos francos, semi-profundos, con buen contenido de materia orgánica y sobre todo que no se inundan porque con tan solo cuatro a cinco días de exceso de humedad se afectará el desarrollo de la planta, ocasionando incluso su muerte. A menudo se indica que la quinua es un cultivo rústico y que se produce en suelos pobres; si bien puede crecer en estos suelos, los rendimientos serán bajos. El pH o grado de acidez del suelo debe ser neutro o ligeramente alcalino, aunque algunas variedades procedentes de los salares en Bolivia pueden soportar hasta pH 8, demostrando su carácter de adecuarse a suelos salinos; así mismo, se ha encontrado quinua de suelos ácidos (pH 4,5) en Michiquillay, Cajamarca, Perú (Mujica, 1995, en Tapia & Fries, 2007).

Con relación a la fertilización en la práctica, los campesinos no fertilizan la quinua, se aprovechan los nutrientes aplicados al cultivo anterior que es generalmente la papa. Sin embargo, se recomienda aplicar al menos 5 t/ha de estiércol de corral, con mayor razón cuando se siembra después de un cereal o se repite el cultivo de quinua.

Labores culturales. La quinua sembrada al voleo no permite un buen laboreo después de la siembra, de acuerdo con Tapia & Fries (2007) la práctica denominada «jaleo» que consiste en pasar la surcadora distanciada en surcos de cuatro a cinco metros cuando las plantas tienen unos 30 cm de alto, y que facilita, además de raleo (eliminación de árboles dentro de la plantación, con la finalidad de manejar las condiciones de competencia mediante la regulación del distanciamiento entre los individuos), crear espacios en forma de canales que sirven para un mejor drenaje.

Esta práctica muestra excelentes resultados como plantas más vigorosas y reduce el riesgo de un exceso de humedad. En la siembra por surcos (40-60 cm) se puede hacer un ligero aporque (amontonar la tierra alrededor de la base de la planta para promover el desarrollo de raíces fuertes), así como raleo el número de plantas por metro lineal (máximo 10 plantas) si existe un exceso de población.

Preparación del suelo. La preparación del suelo consiste en la remoción inicial de la capa arable o la zona de crecimiento de la raíz. De acuerdo con Proinpa (2005), en el altiplano sur existen dos sistemas de preparación de suelos: el sistema manual tradicional (5%) y el sistema mecanizado (95%).

Camacho (2009) recomienda como la práctica principal el volteo del terreno con el arado de palo o yunta, sin embargo, para grandes terrenos se hace necesario la utilización de tractores, adicionalmente esta actividad se debe realizar al finalizar el periodo de lluvias, con lo cual se busca voltear el suelo de tal manera que la parte superior del suelo se introduzca y la interior se vierta hacia la superficie. Esta labor favorece la descomposición de los residuos de cosecha, mayor aireación al suelo y evita la pérdida de elementos nutritivos. Adicionalmente se incorporan los abonos orgánicos, con el objetivo de iniciar su descomposición y permitir la disponibilidad de los nutrientes durante la siembra.

Otra actividad a desarrollar es el rastrado, el cual se efectúa antes de la siembra y consiste en el desmenuzamiento de los terrones o conglomerados de tierra. Posterior a ello se nivela, utilizando un rodillo para desmenuzar los terrones que aún se encuentran en el terreno, en algunas ocasiones los agricultores lo realizan halando tabloncillos pesados.

El surcado es indispensable en el proceso, el cual se realiza haciendo surcos distanciados a 0.5 m a 0.7 m con la yunta. Cuando esta actividad finaliza, inicia el proceso de siembra, el cual se efectúa a chorro continuo, usando de 10 a 12 kg/ha de semilla seleccionada y proveniente de semilleros con un poder germinativo no menor al 95 % y un valor cultural no menos del 85%. Las semillas deben quedar enterradas a 1,5 cm en suelos francos y a 2 cm en suelos secos y arenosos, posteriormente se realiza un tapado con ramas o con tierra para proteger las semillas.

La fertilización de la quinua requiere de 80-40-00 de NPK. Se puede usar 8 a 12 t/ha de Compost Humus. De acuerdo con lo descrito por Camacho (2009), se realizan tres aplicaciones durante la etapa del cultivo: primero al deshierbo (40 días), segundo a la formación de la panoja y tercero durante la floración.

Manejo de la semilla. De acuerdo con PROINPA (2005), para la producción de quinua, el uso de semilla de buena calidad es determinante para obtener

buenos rendimientos. Por lo cual, para la práctica de la selección de semilla de quinua es importante conocer el ciclo para tomar previsión para un manejo adecuado de la producción de la misma.

Existen prácticas que garantizan la calidad en las semillas, en las cuales los ecotipos tienen gran importancia. Estos ecotipos tienen diferentes nombres que varían de acuerdo a la procedencia de los pobladores, sean de tipo quechua (Chillpi) o aymara (Chuchoca). El manejo de la semilla se debe realizar de acuerdo al tiempo de madurez fisiológica. Se presentan las épocas de siembra de los ecotipos de acuerdo a su clasificación: precoces, ciclo intermedio y ciclo tardío.

En Colombia las variedades dulces de quinua han sido descritas por diferentes autores y recopiladas por Delgado (2009):

- ‘Tunkahuan’: originaria de Ecuador, 144 cm de altura en promedio, semitardía (180 días de periodo vegetativo), planta púrpura y panoja amarillo anaranjada, glomerulada, grano blanco, tamaño de grano de 1,7 a 2,1 mm, contenido de saponina de 0,06 y 15,73% de proteína, tolerante a ligeramente susceptible al mildew, con rendimiento de 2.200 kg ha⁻¹ en promedio, ligeramente susceptible a la sequía y heladas, tolerante al exceso de humedad y a la granizada, y susceptible al viento (Nieto *et al.*, 1992).
- ‘Blanca de Jericó’: procedente de Boyacá (Colombia), es de porte alto, semitardía, con ramificación abierta desde la base y panoja de color blanco rosado (Sañudo *et al.*, 2005).
- ‘Piartal’: es originaria del norte de Ecuador. Planta de color púrpura, 240 cm de altura y presenta susceptibilidad al mildew. El grano es blanco opaco, de aproximadamente 2 mm de diámetro (Álvarez & Von Rutte, 1990).
- Adicionalmente, existe un estudio donde se establece la variedad ‘SL47’: cultivar seleccionado por la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Es una variedad precoz, de porte bajo, ramas comprimidas y panoja de color blanco rosado (Sañudo *et al.*, 2005).

Fenología. De acuerdo con la *Guía de cultivo de la quinua*, elaborada por Gómez & Aguilar (2016), la germinación de las semillas de quinua se genera en

condiciones adecuadas de humedad, oxígeno y temperatura, siendo el agua esencial para la iniciación del proceso. La primera estructura en emerger es la radícula, la cual se alarga hacia abajo dentro del suelo y da inicio a la formación del sistema. El hipocotilo sale de la semilla y crece hacia arriba. Posteriormente, se inicia el desarrollo vegetativo, en esta época aparecen las dos hojas cotiledonales, las cuales crecen y se expanden en direcciones opuestas, simétricas y perpendiculares a los cotiledones que aún permanecen verdes. El crecimiento y desarrollo de hojas sigue este patrón simétrico descrito. En el estado de 10 pares de hojas verdaderas, las yemas axilares de las primeras hojas empiezan a formar las ramas. Se puede observar en general en el ápice de crecimiento, la formación del primordio floral.

La ramificación se inicia con una planta con cinco pares de hojas verdaderas, por lo que superpone con el desarrollo vegetativo y el desarrollo floral. En esta etapa el área foliar se incrementa. Continúa el desarrollo del botón floral en el ápice de la planta, se hace evidente, alrededor del estado de cinco pares de hojas, generando una estructura piramidal. Posteriormente, se desarrolla la inflorescencia o panoja, la estructura piramidal empieza a elongarse haciéndose evidente la formación de los ejes principal, secundario, terciario y desarrollo de los primordios de glomérulos y formación de hojas típicas de la inflorescencia. La longitud depende del genotipo y del medio ambiente y varía de 15 a 70 cm.

La floración es la fase en la que se inicia la apertura de las flores, estas son hermafroditas y otras pistiladas, las flores se abren al mismo tiempo mostrando anteras amarillas intensas y brillantes. En la misma panoja este proceso puede durar de 12 a 15 días, en esta fase el color de las panojas se intensifica, la defoliación de hojas de la base continúa y el cultivo es sensible a temperaturas extremas y sequías. Posteriormente, se presenta la fase de antesis, en la que se libera el polen por las flores hermafroditas, el cual es distribuido por el viento, se calcula una polinización del 17%. Este estado finaliza con la muerte de las anteras y el cierre del perigonio sepaloide y la eliminación de hojas en la base de la planta.

El fruto después de la fecundación empieza a crecer y a desarrollarse, durante esta fase los granos están llenos de una sustancia acuosa, este estado se denomina acuoso y se observa la formación de las partes constitutivas del fruto, principalmente el de los cotiledones. Luego el fruto se encuentra en

estado lechoso, en el cual los granos tienen el 100% de su tamaño y reciben fotosintatos de las hojas y partes verdes de las inflorescencias, la sustancia acuosa es reemplazada por una sustancia lechosa. Finalmente, se presenta el fruto en estado masoso, cuando los granos son presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco con apariencia de masa con una humedad de 45% y alcanzan la madurez fisiológica. Se inicia un proceso de pérdida de humedad de los granos y de la planta hasta alcanzar la madurez de la cosecha.

Control de plagas. El cultivo de la quinua es afectado por una amplia gama de insectos durante su periodo vegetativo, según PROINPA (2005) existen 17 especies de insectos que concurren al cultivo de la quinua: K'caco, Ticona, Gusano corador, Padre kuru, karhua, Piki piki, Llaja, Pulgón, Q'home usa, "mosca" minadora, Lorito, Gusado medidor, Oruga de la hojas, Polilla de la quinua y Tunku tunku.

Polilla de la quinua. Mamani (2004) reporta a la polilla de la quinua (*Eury-sacca quinoa*) como la plaga más importante de esta, debido a su frecuencia e intensidad de sus ataques causando daños que pueden llegar a provocar la total destrucción del cultivo de la quinua. Esta especie fitófaga año tras año por su comportamiento trófico, densidad de población, distribución espacial y persistencia ocasiona daños de importancia económica.

La morfología de la polilla de la quinua tiene dos estados: a) huevo: se caracterizan por ser diminutos, miden de 0,4 a 0,5 mm de longitud. Su forma es subglobular, de superficie lisa, blanco cremoso en el momento de la ovoposición y blanco cenizo dos días antes de la eclosión. El periodo de incubación de los huevos es de aproximadamente 9 días, después del cual nacen pequeñas larvas (PROINPA, 2005); y b) larva: tipo eruciforme con tres pares de patas torácicas verdaderas y 5 pares de patas abdominales falsas, presentan un cuerpo de forma y aspecto cilíndrico, alargado; de color amarillo verdoso en los primeros estadios y se tornan marrón oscuro o rojizo en la región notal dando un aspecto de bandas lineales características de la especie en los últimos estadios de la larva.

PROINPA (2005) reporta diferentes enemigos naturales de la polilla de quinua, entre los cuales se destacan algunos endoparásitos como *Meteorus sp.*, *Deleboea sp.*, *Copidosoma sp.*, *Venturia sp.*, *Apanteles sp.*, *Diadegma sp.* y *Phytomyptera sp.*

Complejo noctuideo. Según expone Bazile et al. (2014), el conjunto de insectos que pertenecen a los géneros *Helicoverpa*, *Copitarsia* y *Agrotis*, cuyas larvas causan serios daños al cultivo de la quinua. En Bolivia, el complejo noctuideo está constituido por las especies *Helicoverpa quinoa*, *Copitarsia incommoda* y *Helicoverpa titicacae*. En cambio en el Perú, está constituido por las especies *Copitarsia turbata* y *Agrotis ipsilon*. Los adultos de estas especies son mariposas nocturnas, dependiendo de la zona, reciben diferentes denominaciones, por ejemplo en Bolivia los denominan “Rafaelitos” o Alma kepis y son considerados malagüeros, en el Perú los denominan palomillas. Las larvas de estos insectos, se conocen como ticonas, ticuchis o gusano de tierra.

Entre los enemigos naturales del complejo ticona, PROINPA (2005) describe a *Ammophila sabulosa* (chinca chinca) y *Sphex sp.* de la familia *Sphycidae* K (nina nia), las cuales ejercen parasitismo larval.

Dentro de este complejo a su vez se encuentran larvas de *Copitarsia incommoda* (larva es polífaga), *Copitarsia decolora*, *Agrotis ipsilon* (gusanos de tierra o gusanos cortadores), las cuales pueden generar diversos tipos de daños como corte en las plántulas, a la altura del cuello de la “plántula” o defoliaciones. Con el objetivo de disminuir la presencia de estas plagas, Bazile et al. (2014) reportan diferentes estrategias como la rotación de cultivos con el propósito de romper el ciclo biológico de las plagas; uso de trampas de luz para atraer los insectos y eliminarlos; uso de trampas con feromonas sexuales para el control de insectos adultos o causar confusión en el proceso de apareamiento; uso de bioinsecticidas y ecolaguicidas que son biodegradables; algunos ingredientes activos son: *Bacillus thuringiensis*, Espinosad y caldo sulfocálcico, entre otros.

Enfermedades del cultivo de la quinua. Los hongos en mayor instancia afectan el cultivo de la quinua y son responsables de las enfermedades que lo atacan, adicionalmente las bacterias, los nematodos y los virus generan inconvenientes para este cultivo.

De acuerdo con Bazile et al. (2014), la enfermedad más importante y conocida en el mundo es el mildiu, aunque existen otras de menor importancia como: *damping off*, moho verde, mancha foliar, podredumbre marrón del tallo, mancha ojival, mancha bacteriana, ojo de gallo, nematodos y virosis. En general, estas enfermedades no son consideradas de importancia económica, pero debido a

la rápida expansión del cultivo en la zona andina, junto a efectos del cambio climático, eventualmente estas enfermedades pueden tornarse prevalentes.

Mildiu. La enfermedad es ocasionada por el oomycete *peronospora variabilis*, este se dispersa fácilmente por el viento y la lluvia, y disemina principalmente sus esporas durante el desarrollo del cultivo. De acuerdo con Danielsen et al. (2003), si el ataque ocurre en las fases iniciales de desarrollo de la planta se puede perder completamente la producción; en variedades resistentes las pérdidas oscilan entre 20 y 40%. El principal efecto de la enfermedad es la reducción del área foliar fotosintéticamente activa causando defoliación parcial o total, atrofia en el desarrollo de la planta, reducción de tamaño de panoja y menor rendimiento. Afecta principalmente el follaje (hojas), aunque también se pueden encontrar síntomas en tallos, ramas, inflorescencia y granos.

Inicialmente se presentan manchas pequeñas de forma irregular de color amarillo, rosada, rojiza, anaranjada o parda dependiendo del color de la planta, posteriormente la hoja se torna clorótica y luego se cae. Si el cultivo tiene una producción convencional, fungicidas de última generación permiten el control de la enfermedad con aplicaciones preventivas. Si el cultivo es orgánico, Bazile et al. (2014) describe que la utilización de variedades resistentes, siembras tempranas, densidades bajas de siembra y biofungicidas pueden ayudar a disminuir la afectación de esta enfermedad.

Otras enfermedades. Existen otras enfermedades que afectan los cultivos de quinua. De acuerdo con Ames y Danielsen (s.f.) una enfermedad descrita como mancha foliar, causada por *Ascochyta hyalospora*, produce en las hojas manchas más o menos circulares de color pajizo en el centro y marrón en los bordes. En el centro de la mancha se observan puntitos negros, que son los picnidios del agente causal. Las hojas afectadas generalmente se caen, sobre todo las que se encuentran en la base de la planta, dejando parte del tallo defoliado. En los tallos, las manchas son alargadas y tienen las mismas características que en las hojas, o sea, borde marrón y centro pajizo donde se encuentran los picnidios del patógeno. También se han encontrado picnidios en las semillas.

Otra enfermedad descrita es la podredumbre marrón del tallo y la panoja causada por *Phoma exigua var. foveata*. Produce numerosas lesiones individuales

y coalescentes que se caracterizan por su color marrón oscuro y bordes grisáceos, con los típicos picnidios en el centro de la mancha. Aparentemente, el patógeno reblandece el tejido porque las plantas afectadas tienden a doblarse. El tallo en las zonas afectadas presenta coloración negruzca.

Una enfermedad causada por una especie diferente de *Phoma* es la que se conoce como mancha ojival del tallo. Afecta tallo, hojas e inflorescencia, produciendo manchas con el centro grisáceo y el borde marrón oscuro. En el centro de la mancha es posible observar a simple vista numerosos picnidios en forma de puntitos. Aparentemente, es una enfermedad bastante severa porque puede causar la defoliación completa de la planta.

En viajes de prospección recientes se ha observado una enfermedad que afecta a la base del tallo a la altura del nivel del suelo y que consiste en tejido vidrioso de olor desagradable. Parece que esta enfermedad es bastante común durante la época lluviosa, lo que haría suponer que se trata de una bacteria.

Riego. No es común el uso del riego en los cultivos de quinua, por lo que se le considera un cultivo transitorio de secado. El cultivo de quinua se realiza en función de la distribución de las lluvias en la región donde se va a sembrar. Si se dispone de riego en la finca donde se va a sembrar, se puede utilizar en periodos de poca precipitación, teniendo en cuenta que la quinua es una planta adaptada a condiciones de bajos niveles de humedad en el suelo.

Cosecha. Este proceso incluye actividades de corte, secado, trillado y venteado. De acuerdo con PROINPA (2005), en el momento del corte se debe separar los diferentes ecotipos para efectuar una trilla separada y obtener un grado de color uniforme. Para obtener granos de calidad se deben cortar las plantas, un tercio inferior de la planta a partir de la superficie del suelo. Como actividad consecuente en el secado de las panojas se deben extender las plantas en montones de volumen en el menor tiempo posible. Continuando con la trilla, si se utiliza un tractor, se realiza sobre carpas dispuestas en el suelo. Para realizar el venteado y limpieza se recomienda utilizar las corrientes de viento que facilita la actividad, selección y clasificación de los granos. A su vez, la trilla y venteo se puede realizar con trilladores estacionarias, finalmente en el almacenamiento se evita el ingreso de roedores.

Nuevas tecnologías de cultivo. Con relación al cultivo y a las técnicas utilizadas existen múltiples trabajos que investigan el efecto de las variables que permiten mejorar el rendimiento durante la cosecha. Diferentes universidades de Bolivia, Ecuador y Perú abanderan el tema, apoyadas por organismos de carácter nacional y en diversas ocasiones por organismos internacionales como la FAO.

Soto et al. (2009) presentaron los resultados de un estudio denominado *La Innovación en el Cultivo de Quinua Boliviana*, en el cual se ofrecían paquetes con diferentes elementos de manejo: uso de sembradora SATIRI, variedades mejoradas, control de plagas y enfermedades, fertilización foliar (abonamiento), uso de cintas de casete contra aves, labores culturales, selección de panojas para semilla, métodos de cosecha (corte con hoz), métodos de trilla, uso de venteadora de granos, que conforman el nivel de uso de innovación del paquete empleando diferentes canales de intercambio de información, medidas de capacitación y subsidios a los productores.

Las anteriores innovaciones fueron ofrecidas por cuatro fundaciones u organizaciones. Posterior al estudio concluyeron que este tipo de herramientas son importantes si se realiza una adaptación de estas innovaciones a las capacidades de transferencia tecnológica a los productores. Se trata de mejorar las capacidades de absorción individuales por medio de esquemas de financiamiento, de capacitación y sensibilización, se promueve e intensifica la interacción entre quienes ofrecen las innovaciones y los productores, y se incluye también actores de los sectores de acopio, procesamiento y exportación en las alianzas puntuales a fin de mejorar el entendimiento común sobre producción, calidad y condiciones del mercado.

Por otra parte, en un estudio específico de la actividad de cultivo realizado por García (2005), se expone que las causas del deficiente desarrollo radicular están inducidas por un manejo inadecuado del suelo, ocasionado por el sistema de labranza que se aplica u otras formas de compactación de este. En el estudio se explica como la raíz en su crecimiento debe realizar un trabajo contra la presión ejercida por el suelo contra ella y proporcional al volumen de suelo que debe desplazar en su crecimiento, por lo cual un suelo bien estructurado, en el que existan poros de tamaño suficiente para alojar a la raíz favorece el desarrollo de la planta. Adicionalmente, se concluye que a medida

que se incrementa la compactación del suelo y decrece el espacio poroso, el trabajo de la raíz ha de ser mayor, para lo cual necesita un elevado suministro de energía, que se traduce en mayores necesidades de agua y nutrientes, que le son más difíciles de obtener al disminuir la superficie absorbente. En el mejor de los casos, todo ello lleva consigo una menor formación de materia seca, con disminución del crecimiento y del rendimiento de la producción con un mismo consumo de agua y nutrientes. Por lo anterior, el estudio recomienda una distancia de 15 cm de profundidad de laboreo en relación con los sistemas de labranza mínima y cero.

Otros estudios se han desarrollado con el objeto de evaluar el rendimiento de las actividades de cultivo. Por ejemplo en la estación experimental de El Mantaro de la Universidad Nacional del Centro del Perú, Cerrón et al. (2015) realizaron un estudio en el que se determinó el efecto del abono foliar de stevia en el cultivo de la quinua en la calidad y desamargado utilizando cuatro tratamientos (testigo, 100, 200 y 300 cc de abono foliar de stevia). Concluyeron que el tratamiento 300 cc presentaba una mayor altura de plantas con 169,65 cm, tamaño de la panoja 53,43 cm y longitud de la raíz de 19,40 cm. Adicionalmente, realizaron análisis al grano de la quinua encontrando que el contenido de saponina fue menor con 300 cc de abono de stevia (0,011 de concentración de saponina), dentro de los resultados obtenidos se observó un incremento en los contenidos de proteínas, carbohidratos, cenizas, fibra y grados Brix.

La quinua es una especie arbustiva, con raíces pivotantes (aprovechan el agua a mayor profundidad) y fasciculadas (aprovechan el agua a nivel superficial), esta se adapta bien al clima frío y a la escasez de humedad. Teniendo en cuenta lo anterior el exceso de agua causa serios daños en la germinación y la maduración.

El agua es un elemento importante para el cultivo de quinua, especialmente en países como Bolivia donde esta fuente es limitada y se requiere la utilización de técnicas para su consecución y conservación. Con el objetivo de evaluar las técnicas de riego referente a su efectividad y eficiencia, Cossio y Aroni (2011) utilizaron parcelas demostrativas de los sistemas de riego de aspersión y goteo establecido en un suelo arenoso, a su vez que realizaron capacitación a profesores y promotores sobre el manejo de agua, suelo y planta. Posterior al

estudio, concluyeron que los mejores rendimientos y beneficios se obtienen con sistemas presurizados, el sistema por aspersión tiene mayor rendimiento (851,4 kg/ha), con relación al sistema por goteo (620 kg/ha) y el testigo (216,8 kg/ha). Teniendo en cuenta lo anterior, en condiciones de suelo pobre se presenta un incremento del 292% en rendimiento con la técnica de riego por aspersión, 185% en goteo con relación al testigo.

A pesar de estudios como el anteriormente mencionado, existen muchas zonas en las cuales se presenta escasez del suministro de agua, teniendo en cuenta la dificultad y limitación que tienen nuevos métodos de riego debido a su alto costo y a la necesidad de contar con fuente de agua, se evalúa el existente sistema tradicional de cultivo en el que se utiliza el agua lluvia. Este método de riego de los cultivos de quinua fue estudiado por Toapanta (2016), quien comparó las diferentes etapas del cultivo con y sin riego. Con relación a la duración de etapas fenológicas y profundidad radicular de la quinua *var. tunkahuán*, se identificó que el ciclo del cultivo de quinua de la variedad en mención fue de 183 días, con una duración de 23 días en la etapa inicial, 52 días la etapa de desarrollo, 55 días la etapa intermedia y, finalmente, con 53 días la etapa final. En cuanto al rendimiento con riego fue de 4.160 kg/ha en 5 parcelas de (5x5) objetos del estudio, mientras que sin riego 4.320 kg/ha en otras 5 parcelas. El estudio concluyó que entre el rendimiento con riego y sin riego, hay una diferencia de 160 kg; el cultivo de quinua no necesita una gran cantidad de agua teniendo en cuenta que se adapta muy bien. Lo anterior se ratifica con el ciclo del cultivo de quinua en secano cuya precipitación natural fue de 410,8 mm/ciclo comparado con la de Bolivia en el ciclo (600 mm), con una diferencia de 189,2 mm, obteniendo una mayor producción en las parcelas de secano, adicionalmente esta variedad es resistente a las plagas y enfermedades.

Por otra parte, la época de siembra de la quinua es un factor determinante en el rendimiento del cultivo. Por tal motivo, Huaycho et al. (2013) presentaron un estudio para evaluar dicha característica realizado en el altiplano sur de Bolivia en dos épocas del año y sembrando seis variedades. Se encontró que en los meses de marzo y abril se presentaron temperaturas mínimas inferiores a 0 °C, lo cual afectó a las variedades tardías (V1 Pisankalla y V6 Toledo); sin embargo, en las variedades precoces (V5 Canchis B.) y semiprecoces (V2 Horizontes y V3 Negra) no fueron afectadas debido a que su ciclo es más corto. En este mismo estudio

se concluyó que en la primera época (21 de noviembre) las plantas presentaban mayor altura que las sembradas en la segunda época (5 de diciembre), a su vez las variedades que sobresalieron fueron la V3 (Negra) y V2 (Horizontes). Con respecto al rendimiento expresado en kilogramos por hectárea para la primera época de siembra las variedades semiprecoces V3 Negra y V2 Horizontes se destacaron con relación a las demás variedades y a la segunda época.

La salud y nutrición de la planta son otros elementos que deben ser tenidos en cuenta para evaluar el rendimiento del cultivo. Actualmente existen bacterias promotoras del crecimiento (PGPRs) como las rizobacterias que benefician el desarrollo vegetal por mecanismos indirectos como la mejora de su nutrición o mecanismos directos que involucran el metabolismo de la planta y producen reguladores de crecimiento. Zuñiga et al. (2011) realizaron una investigación en plántulas de quinua utilizando como sustrato arena estéril y dos variedades de quinua (Salcedo INIA y Kcancolla), evidenciando un mayor crecimiento y mayor tasa de supervivencia de las plántulas en los tratamientos inoculados con Diazotrofos y *Pseudomonas* en la variedad Salcedo, mientras que en la variedad Kcancolla los tratamientos inoculados con las cepas Actinomicetos y Diazotrofos mostraron una mayor altura y tasa de supervivencia, demostrando que estas cepas tienen un importante potencial como promotoras del crecimiento vegetal.

Finalmente, el cultivo de quinua presenta requerimientos con relación al pH del suelo, nutrientes y sales que garantizan el adecuado desarrollo del pseudocereal. Dentro de los nutrientes el nitrógeno es fundamental para el crecimiento y desarrollo, teniendo en cuenta lo anterior, se han desarrollado productos que utilizan bacterias para fijar este nutriente denominadas biofertilizantes. Por lo anterior, Haycho et al. (2011), realizaron un estudio en Bolivia, utilizando dos cepas de bacterias: Rizobial y Pseudomonal. Se encontró que la segunda cepa con un nivel de 6 t/ha., presentó la mayor altura, diámetro de panoja y rendimiento de la planta, debido a que la cepa fijó mayor contenido de nitrógeno en el suelo lo cual estimula el crecimiento de la misma.

2.3 Variedades de quinua

Existe una amplia diversidad genética de la quinua, reportándose para el 2013 en el ámbito mundial 16.422 las accesiones de quinua y sus parientes

silvestres que se conservan en 59 bancos de semillas de 30 países (Rojas et al., 2014). Esta amplia diversidad conforma un acervo genético extraordinariamente valioso y que se expresa en la variabilidad de colores de la planta, su inflorescencia y los tipos de semilla, así como la duración del ciclo de cultivo, su valor nutritivo y potencial de procesamiento agroindustrial. Rojas et al. (2004) reportan que del total de accesiones que se conservan, el 88% están en la región Andina, distribuidos de la siguiente manera: 6.721 accesiones en Bolivia en los centros experimentales del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), Universidad Técnica de Oruro (UTO), Universidad Católica Boliviana (UCB) y Universidad Pública de El Alto (UPEA); 6.302 accesiones se encuentran en Perú en los bancos de las estaciones experimentales del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), la Universidad Agraria La Molina de Lima, la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

En Argentina, la red nacional de conservación de semillas del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria (INTA), cuenta con un total de 492 accesiones, y en Ecuador se conservan 673 accesiones en el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología en la Estación Experimental de Santa Catalina del INIAP. Chile tiene en sus bancos de germoplasma 286 accesiones en el Banco Base de Semilla del Centro Experimental Vicuña del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), y en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile. Y en Colombia, se conservan 28 accesiones en el banco de germoplasma de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria en Tibaitatá (Rojas et al., 2014).

En Colombia, la quinua se categoriza en dos tipos: las quinuas dulces y amargas, y esta categorización está relacionada con el contenido de saponina en el grano. La presencia de saponinas es uno de los principales problemas de poscosecha, debido a que la saponina hace que la quinua presente un sabor fuertemente amargo, por lo cual esta sustancia debe ser removida del grano, y este incrementa los costos de poscosecha (Corzo, 2008). El subproducto generado de este proceso puede ser aprovechado, generando nuevos productos dentro de líneas no alimentarias como en la industria de productos de aseo, cosmética y farmacéutica. Por tanto, las variedades de quinuas dulces son las más cultivadas, ya que al tener un bajo contenido de saponina, facilita su

procesamiento a nivel industrial. En la Tabla 4 se presentan diferentes variedades de quinua cultivadas en la región Andina con su respectivo contenido de saponina, lo cual permite determinar si la variedad puede ser catalogada como dulce o amarga.

Tabla 4. Variedades de quinua se cultivan en la región Andina

Variedad	Tipo de quinua	País donde se cultiva	Contenido de saponina
Blanca de Jericó	Dulce	Colombia	N.R.
Aurora	Dulce	Colombia	N.R.
Piartal	Dulce	Colombia/Perú	0%
Tunkahuan	Dulce	Colombia	N.R.
INIA 431–Altiplano	Dulce	Perú	0,03%
INIA 420–Negra Collana	Dulce	Perú	0%
INIA 415–Pasankalla	Dulce	Perú	0%
Salcedo INIA	Dulce	Perú	0,02%
Blanca de Juli	Dulce	Perú	0,04%
Chukapaca	Semidulce	Bolivia	N.R.
Kamiri	Semidulce	Bolivia	N.R.
Amarilla de Maranganí	Amarga	Colombia/ Perú	7%
Dorada de Bolivia	Amarga	Colombia	N.R.
INIA 427 – Amarilla Sacaca	Amarga	Perú	7%
Quillahuaman INIA	Amarga	Perú	3
Real Boliviana	Amarga	Bolivia	N.R.

Fuente: Apaza et al., (2013)

Estas variedades de quinua además de diferenciarse por su contenido nutricional y de saponina, también se diferencia por la coloración de su grano, los cuales pasan por tonos blancos, amarillos, rojos, negros, y sus combinaciones dando origen a una gran variedad de semillas de quinua, como se muestra en la Figura 2.

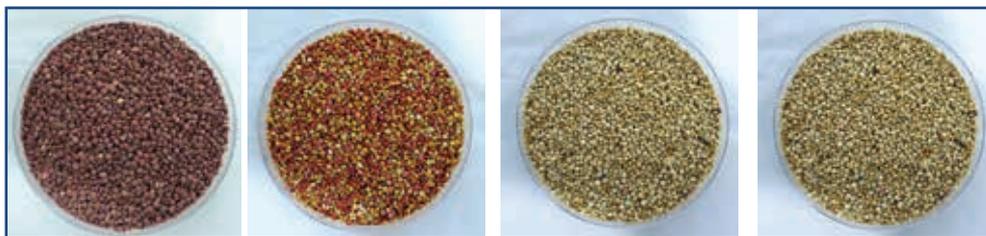


Figura 2. Variedad de colores de la quinua

1. Manejo poscosecha de la quinua

Las actividades de cosecha y poscosecha son de alta importancia en el proceso productivo del cultivo de quinua, ya que de estas actividades depende la calidad del grano, la incorporación de materia orgánica del suelo y la reducción de los costos de procesamiento de la quinua. A continuación, se describen las etapas que se deben realizar.

Cosecha. La cosecha se realiza cuando las plantas han alcanzado la madurez fisiológica, característica que se reconoce cuando cambian de coloración (Figura 3), tornándose en un color amarillo típico, rojizo, rosado, púrpura, negro según los ecotipos o variedades (Quiroga et al., 2014). Otra manera es golpeando suavemente la panoja con la mano, si existe caída de los granos ya se puede empezar con el corte (FAO, 2011).



Figura 3. Panoja del cultivo de quinua lista para ser cosechada

Corte de la panoja. En esta etapa se pueden emplear tres tipos de procesos: arrancado tradicional, corte con hoz y corte semimecanizado. El arrancado tradicional consiste en arrancar la planta desde la raíz y se realiza en suelos arenosos, de manera que los terrones de tierra adheridos a la raíz de la planta son parcialmente removidos mediante sacudones consecutivos, para luego apilar las plantas en forma de arcos (Quiroga et al., 2014). La desventaja es que al retirar la raíz del suelo no se deja materia orgánica, bajando la fertilidad del suelo. Así mismo, se incrementa el riesgo de contaminación del grano con la tierra e incrementa la existencia de impurezas en la trilla (FAO, 2011). Por ello, se ha buscado alternativas como el corte con hoz, el cual consiste en cortar la planta entre 10 – 15 cm del suelo, dejando el rastrojo en el mismo suelo, lo cual ayuda a su conservación (Quiroga et al., 2014), debido a que la materia orgánica puede desarrollar un proceso natural de compostaje (Aroni et al., 2009). Sin embargo, este proceso de corte se debe realizar en el momento oportuno, para evitar que los granos se caigan de la panoja por el proceso de manipulación.

Con el fin de hacer el proceso cada vez más eficiente, el corte semimecanizado, es un proceso que permite mejorar el tiempo de corte de la panoja; este consiste en cortar las plantas con una segadora con sierra mecánica y su aplicación se facilita cuando las plantas están distribuidas en surcos (FAO, 2011). Según Aroni (2005), la ventaja de este método es que el avance de corte es rápido y se deja tallo y raíces en el suelo para la incorporación como materia orgánica. Las experiencias indican que se puede cortar 2,5 ha/día con la participación de 4 personas.

Secado de la panoja. Esta etapa busca reducir la humedad del producto con el fin de facilitar el proceso de trillado, de manera que se logre el mayor rendimiento en esta etapa, para lo cual se deben disponer las pajonas cortadas en un lugar que permita un alto nivel de aireación y alta exposición al sol para lograr en el menor tiempo posible la reducción de la humedad, y así disminuir los riesgos de contaminación, ya que la panoja está expuesta de forma directa al ambiente. Quiroga et al. (2014) indican que para facilitar este proceso de secado, las panojas se pueden disponer de diferentes formas, la más común consiste en formar pequeños montículos dispuestos en el interior de la parcela; otra implica realizar el apilado en forma lineal con las panojas dispuestas a un solo lado o también se pueden hacer parvas en forma circular

con las panojas orientadas al interior del círculo; lo importante es lograr un buen nivel de secado. La humedad con la cual debe quedar el producto es de máximo 15%, sin embargo, los productores no tienen los equipos para hacer la medición, el punto final de secado lo determinan manualmente, al realizar fricción del producto con las manos y si fácilmente se sueltan los granos de la panoja, se determina que está en el punto óptimo para el proceso de trillado.

Proceso de trillado. La trilla consiste en la separación del grano de la panoja (Calla & Cortez, 2011). Antes de iniciar la trilla, es importante verificar que la humedad del grano no exceda el 15% (Quiroga et al., 2014). El proceso de trillado se puede hacer de forma manual, el cual consiste en golpear la panoja con un palo macizo, de manera que logra desprender el grano de quinua, este es un proceso que implica altos costos de tiempo y proceso (FAO, 2011). Por consiguiente, casi en todos los cultivos de quinua en la región Andina se emplea las trilladoras, que son equipos que funcionan mediante un cilindro rotativo convencional y transversal provisto con muelas de plástico y goma, en el que se separan tallos y remueven de sus panojas los frutos o granos de la planta (Figura 4). La separación de granos y trozos de planta se realiza por medio de dos zarandas móviles, la primera que separa trozos mayores, comúnmente llamado “sacapaja” y una segunda zaranda en la que solo pasan granos y partes menores a 3 mm de diámetro hacia la etapa de separación (Quiroga et al., 2014). Existen diferentes tipos de trilladoras con diferentes niveles de rendimiento, está la Trilladora TR-C, que incluye dos zarandas cambiables y su rendimiento es de 276 a 368 kg/h, la Trilladora Vencedora modificada que tiene un rendimiento de 180 a 210 kg/h, con una efectividad de 85% de grano y 15% (hojas y perigonio triturado) y la Trilladora Tubular con un rendimiento del 95 kg/h con 85% de efectividad (Quiroga et al., 2014). Comercialmente existen diferentes tipos de trilladora/ventiladora con capacidad desde 300 hasta 450 kg/h, que permite obtener el grano limpio (Fischer Agro, 2016).

Proceso de venteo. El venteado de grano consiste en separar las impurezas pequeñas y livianas, y se puede realizar de forma tradicional o de forma mecánica. El venteo tradicional se realiza manualmente utilizando platos o recipientes para recoger una porción de quinua trillada y se deja caer en chorro en dirección transversal a la dirección del viento (Figura 4). Este método, al ser dependiente de ocurrencia y la variabilidad de dirección e intensidad

del viento, es poco efectivo y el producto que se obtiene es heterogéneo y aún contiene impurezas (Quiroga et al., 2014).



Figura 4. Proceso de venteo tradicional de la quinua

Las venteadoras mecánicas, generan corrientes regulares de aire mediante aspas giratorias y poseen una tolva de alimentación de donde cae el grano en una cantidad constante y regulable. El rendimiento de las máquinas es de 5 a 8 kg/h (FAO, 2011).

Almacenamiento. Consiste en guardar los granos de quinua obtenidos de la poscosecha y se almacena hasta la comercialización. Para mantener la calidad del producto, el almacenamiento se debe efectuar en cuartos o ambientes limpios, secos y ventilados. Se recomienda para el embolsado utilizar sacos en buen estado.

2.4.1 Evaluación de la calidad y composición nutricional del grano de quinua

Dentro de los procesos de evaluación de calidad, se tienen en cuenta criterios de índole físico, químico, morfológico, nutricional y microbiológico, y para cada uno de ellos se definen los rangos o límites entre los cuales se debe estar.

Para el caso de parámetros morfométricos de la quinua, se tienen criterios relacionados con el tamaño del grano, el cual puede ser evaluado de dos maneras: la primera es a través del tamizado en el que se emplean tamices de diferentes tamaños entre un rango de 1.4 y 2 mm, y este permite determinar la cantidad de producto que queda retenido en cada tamaño de poro, y a partir de esta información determinar el tamaño promedio del grano; y la segunda es la determinación del diámetro geométrico del grano, el cual se basa en las mediciones ortogonales del grano como lo son el ancho, largo y espesor, permitiendo conocer su estructura espacial. Para esta medición se emplea un micrómetro y esta se realiza grano a grano. De acuerdo con la Norma Boliviana NB/NA 0038, la quinua se clasifica en cuatro tamaños como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Determinación del tamaño de los granos de quinua en función del diámetro

Tamaño de los granos	Diámetro promedio de los granos (mm)	Malla
Extra grande	Mayores a 2,0	85% retenido en la malla ASTM 10
Grandes	Entre 2,0 y 1,7	85% retenido en la malla ASTM 12
Medianos	Entre 1,7 y 1,4	85% retenido en la malla ASTM 14
Pequeños	Menores a 1,4	85% que pasa por la malla ASTM 14

Fuente: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad-IBNORCA (2010)

2.5 Composición nutricional del grano de quinua

La calidad nutricional de un producto depende de la cantidad y calidad de sus nutrientes. En la Tabla 6 se indica el valor mínimo y máximo de los componentes nutricionales del grano de quinua.

Tabla 6. Variación del valor nutritivo y agroindustrial de quinua

Característica	Mínimo	Máximo	Número de variedades analizadas
Proteína (%)	10,21	18,39	555 accesiones de grano de quinua
Grasa (%)	2,05	10,88	
Fibra (%)	3,46	9,68	
Geniza (%)	2,12	5,21	
Carbohidratos (%)	52,31	72,98	
Energía (Kcal/100 gr)	312,92	401,27	
Granulo almidón (μ)	1	28	266 accesiones de grano de quinua
Azúcar invertido (%)	10	35	

Fuente: Rojas (2010)

Proteínas

El contenido de proteína de semillas de quinua en base seca varía entre 10,2% y el 18,5%; siendo mayor su contenido que el presente en el arroz (7,5%), cebada (11%), maíz (13,4%), y está cerca de trigo (15,4%). Sin embargo, es importante indicar que la calidad de una proteína, depende principalmente del contenido de aminoácidos, la digestibilidad y la influencia de factores antinutricionales (Abugoch, 2009). La quinua es de las pocas plantas que proporcionan todos los aminoácidos necesarios para la vida humana. Al contrario de otros granos que son especialmente pobres en lisina, la quinua es aceptada como una fuente de proteína de alta calidad. Además de ser rica en proteínas, tiene un nivel suficientemente alto de aminoácidos en comparación con otros cereales (maíz, trigo y cebada) y contiene una alta cantidad de triptófano no proteico que puede ser absorbido más fácilmente y ayudar a aumentar la facilidad de uso de este aminoácido en el cerebro. En este sentido, reportes indican que la proteína presente en el grano de quinua posee una alta digestibilidad, comparado con alimentos como la carne y la leche, considerados con una digestibilidad proteica del 100% (Romo, 2006).

Así mismo, se considera al grano de quinua como un alimento libre de gluten porque su proteína está conformada principalmente por albúminas y globulinas solubles en agua o soluciones salinas débiles, lo que dificulta su uso en la panificación, pero puede ser útil para alérgicos al gluten (enfermedades Sprue y Zólikali). También la calidad de la proteína está determinada por la cantidad de aminoácidos esenciales y por su digestibilidad que se aproxima al 80%; los valores máximos para este parámetro, cercanos al 100%, son para la carne y la leche (Romo, 2006).

La biodisponibilidad de los aminoácidos o digestibilidad de la proteína de la quinua varía en función del tipo de variedad de quinoa y del proceso de cocción que se le aplique (Navruz-Varli & Sanlier, 2016). Cervilla et al. (2014) en su estudio realizaron la evaluación del efecto del proceso de cocción sobre el valor nutricional (contenido de proteína) de la quinua, debido a que el método de cocción condiciona la biodisponibilidad de los nutrientes y sus pérdidas durante el proceso. Encontraron que la cocción por inmersión en agua a ebullición es la más habitual, pero genera las mayores pérdidas proteicas (144 mg/100 g), mientras que la cocción con vapor a presión atmosférica no garantizó la completa gelatinización de los granos y se tiene una pérdida proteica equivalente a 35 mg/100 g. Por el contrario, mediante la cocción con vapor a presión la quinoa gelatiniza por completo y con escasas pérdidas en proteínas (0,26%). Otro factor que puede ayudar a mejorar la digestibilidad de la proteína de la quinua es el proceso de germinación, encontrándose valores de digestibilidad de 90,35 para un día de germinación, lo que significa un incremento del 14% (Chaparro et al., 2010).

Lípidos

El contenido de aceite de la quinua está entre el 2 y 10%, la cual es rica en ácidos grasos esenciales (Graf et al., 2015). Vega-Gálvez et al. (2010) indicaron que la quinua tiene un alto contenido de ácido oleico (24%) y, ácido linoleico (52%). Así mismo, indicaron que todos los ácidos grasos presentes en la quinua están protegidos por la presencia de vitamina E, la cual actúa como un antioxidante natural.

Carbohidratos

El contenido de almidón en la quinoa está entre 58,1 y 64,2%, pero estos tienen un bajo índice glicémico, y está constituido principalmente por D-xilosa (120 mg / 100 g) y maltosa (101 mg / 100 g) con bajo nivel de glucosa (19 mg / 100 g) y fructosa (19,6 mg / 100 g), con un contenido de fibra dietaria del 10%. Aunque el contenido total de fibra en la quinoa es comparable a otros cereales, la composición de la subunidad de monosacáridos de fibra de quinoa se parece más a la de las frutas, verduras y legumbres. La fibra insoluble de la quinoa se compone principalmente de ácido galacturónico, arabinosa, subunidades de galactosa, xilosa, y de glucosa, que corresponde al 78% del contenido total de fibra en la quinoa. Mientras tanto, la fibra soluble de la quinoa, está compuesta principalmente de glucosa, ácido galacturónico, y subunidades de arabinosa, y constituye el restante 22% de la fibra total. El contenido de fibra soluble, que es mayor que la del trigo o del maíz (15%), juega un papel importante en los temas de promoción de la salud, ya que la fermentabilidad de fibra soluble de la quinoa por microbiota colónica ha sido reconocida por sus propiedades funcionales (Graf et al., 2015).

Minerales

La quinoa tiene un alto contenido de calcio, magnesio, hierro y zinc. El contenido de calcio es de 275 a 1.487 mg/kg, de cobre es 2 a 51 mg/kg, para el hierro esta entre 14 y 168 mg/kg, de manganeso entre 260 y 5.020 mg/kg, fósforo de 1400 a 5.300 mg/kg, potasio de 75 a 12.000 mg/kg y de zinc 28 a 48 mg/kg, cantidades suficientes para mantener el balance de la dieta humana (Graf et al., 2015). Estos resultados indican que la quinoa aporta 10 veces el hierro presente en la carne (1,2 mg / 100 g) y la misma cantidad de calcio que aporta la leche (125 mg / 100 g), lo cual muestra el potencial que tiene este grano en el desarrollo de nuevos productos alimenticios con alto valor nutricional.

El proceso de germinación de los granos de quinoa también favorece la disponibilidad de estos minerales tan importantes a nivel nutricional. De acuerdo con el estudio de Chaparro et al. (2011) indicaron que el calcio disponible se incrementó significativamente en un 24.75% (68,27 mg / 100 g) en semillas de quinoa a partir del segundo día de germinación, mientras la disponibilidad del hierro disminuyó en un 13% (6 mg / 100 g).

Vitaminas

El grano de quinua contiene vitamina B6 y ácido fólico en altas concentraciones (Navruz-Varli & Sanlier, 2016). Así mismo, contiene ácido ascórbico, vitamina E, tiamina, riboflavina y niacina (Vega-Gálvez et al., 2010).

Compuestos funcionales

Dentro del amplio grupo de compuestos funcionales están los flavonoides, ácidos fenólicos, polifenoles y fitoesteroles, los cuales se encuentran en cualquier alimento de origen vegetal. Su contenido es muy variable, ya que depende de muchos factores tales como la variedad o el grado de maduración de la especie vegetal (Camacho et al., 2016). Estos compuestos son considerados antioxidantes pues atrapan los radicales libres.

Los radicales libres son compuestos generados por el mismo organismo, los cuales incrementan su acción nociva en el cuerpo por el efecto de factores externos como son los contaminantes ambientales, farmacológicos y nutricionales. Así mismo, estos radicales tienen la propiedad de reaccionar con proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos, reacción asociada a múltiples enfermedades crónicas como cáncer, problemas cardiovasculares, Alzheimer, derrames cerebrales, cataratas o el deterioro funcional asociado a la edad (Jorge & Troncoso, 2016).

Por tanto, los antioxidantes previenen que los radicales libres se unan y dañen las moléculas de ácido desoxirribonucleico – DNA (Repo-Carrasco & Encina, 2008), sin embargo, es importante tener en cuenta que diferentes polifenoles presentan diferentes capacidades antioxidantes, y el efecto de la estructura molecular sobre sus propiedades inhibitoras de radicales libres aún está siendo investigado en detalle, para poder determinar su efecto real (Rodríguez et al., 2016).

De acuerdo con varios estudios realizados a diferentes tipos de variedades de quinua, se han encontrado que estas tienen altos niveles de polifenoles, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Reportes de contenido de polifenoles y flavonoides de diferentes variedades de quinua

Variedad de quinua	Contenido Polifenoles (mg AG / gr)	Flavonoides totales (mg/g)	Referencia
Quinua (Bolivia)	3,75 ± 0,34		Paško et al. (2009)
Quinua R49	11,43 ± 1,16	5,72 ± 0,66	Ruiz et al. (2016)
Quinua V1-1	4,26 ± 0,79	4,88 ± 0,76	
Quinua VR	5,17 ± 0,48	7,00 ± 0,54	
Quinua Blanca	2,5	0,6	Tang et al. (2015)
Quinua Roja	4,6	1,8	
Quinua Negra	5,2	1,5	
Cuchiwilla morado	2,87 ± 0,17	0,75 ± 0,02	Abderrahim et al. (2015)
Pasankalla dorado	2,72 ± 0,03	0,92 ± 0,04	
Pasankalla rojo	2,77 ± 0,01	0,81 ± 0,16	
INIA-415 Pasankalla	5,97 ± 0,05	0,36 ± 0,02	Repo-Carrasco et al. (2010)
Salcedo INIA	3,84 ± 0,15	0,66 ± 0,06	

Como se observa en los datos de la Tabla 7, el contenido de polifenoles varía entre 2 y 11 mg de ácido gálico por g de quinua, y para los flavonoides varía entre 0,6 y 5,72 mg/g, lo cual indica que el tipo de variedad influye directamente en su composición funcional. Así mismo, se puede observar en los resultados de la cuantificación de polifenoles de tres tipos de quinua de colores (blanca, roja y negra), que su contenido es mayor en la quinua de color rojo y negra, lo cual los autores Tang et al. (2015) asocian a la presencia de formas conjugadas de betacianinas principalmente betanina e isobetanina, e indican que las semillas de quinua más oscuras tienen una mayor concentración fenólica. En este sentido, Tang et al. (2015) realizaron un análisis de los compuesto fenólicos individuales de los tres granos de quinua, encontrando en forma libre y conjugada compuestos como los ácidos vanílico y ferúlico, la quercentina y el Kaempferol. Abderrahim et al. (2015) en su estudio de quinuas rojas reportan que no hay una diferencia en el contenido de compuestos funcionales, lo

cual indica que la quinua podría ser una fuente interesante de ingredientes alimentarios funcionales.

La capacidad antioxidante de un producto se puede medir por varios métodos, en los cuales varía el tipo de radical libre sobre el que se realizará la evaluación. Los principales radicales libres empleados son el FRAP (*Ferric Reducing Ability of Plasma*), el ABTS (*2,2'-azino-bis ácido 3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico*) y el DPPH (*2-2-diphenyl-1-picrylhydrazyl*). Varios autores han evaluado la capacidad antioxidante de diferentes variedades de quinua, en la Tabla 8 se muestran estos resultados en los que se evidencia que hay una variabilidad en los resultados obtenidos. Analizando la comparación de las tres quinuas de colores (blanca, roja y negra), estas presentan el mismo comportamiento que el presentado por los polifenoles, los cuales tienen una correlación directa entre la coloración y la capacidad antioxidante, siendo mayor la capacidad para la quinua negra (Tang et al., 2015), lo cual indica a su vez que hay una correlación directa entre el contenido de polifenoles y su capacidad antioxidante.

Tabla 8. Reportes de capacidad antioxidante de diferentes variedades de quinua

Variedad de quinua	DPPH	FRAP	Referencia
Quinua (Bolivia)	38,84 ± 1,63 (TEAC ₅₀)	4,97 ± 0,15 (mmol Fe/kg)	Paško et al., (2009)
Quinua R49 (Chile)	0,86 ± 0,08 (mM Trolox/g)	0,37 ± 0,04 (mM Trolox/g)	Ruiz et al., (2016)
Quinua V1-1 (Chile)	1,09 ± 0,14 (mM Trolox/g)	0,26 ± 0,03 (mM Trolox/g)	
Quinua Villarica (Chile)	1,39 ± 0,03 (mM Trolox/g)	0,34 ± 0,01 (mM Trolox/g)	
Quinua Blanca	5,6 (μmol Trolox/g)	8,5 (μmol AA/g)	Tang et al., (2015)
Quinua Roja	9,1 (μmol Trolox/g)	28,5 (μmol AA/g)	
Quinua Negra	11,2 (μmol Trolox/g)	30,5 (μmol AA/g)	

En relación a los fitoesteroles, estos son compuestos bioactivos de reconocido valor nutricional y preventivo, los cuales pueden contribuir a reducir la absorción de colesterol y, por lo tanto, disminuyen un importante factor de riesgo cardiovascular. Estos compuestos están en forma natural en plantas, encontrándose las mayores concentraciones en semillas, tallos, hojas y frutos. Las semillas de oleaginosas y de cereales son las mayores fuentes naturales de fitoesteroles, con valores promedio de 110 mg, 76 mg, 83 mg, 52 mg, 83 mg y 178 mg / 100 g para centeno, trigo, cebada, avena, quinua y amaranto, respectivamente (Silva et al., 2016). Esto hace de la quinua un producto con mayor potencial nutricional.

2.6 Conclusión

La quinua es un alimento ancestral de la región Andina, cuyas características hace que presente una alta resistencia a plagas y buena adaptación a las condiciones climáticas lo que facilita su cultivo. Lo anterior aunado con el interés creciente por este alimento y su importancia nutricional, especialmente, por el contenido de proteína y la calidad de la misma por el alto contenido de minerales como calcio, magnesio, entre otros y vitaminas, hace de la quinua un importante elemento para la economía y la nutrición de la región, con un gran potencial debido también al interés mundial y al importante comercio de este alimento. Países como Perú, Bolivia y Ecuador se consolidan como los principales productores, sin embargo, Argentina y Colombia presentan un crecimiento importante de los últimos 5 años.

Debido a la larga tradición del cultivo de quinua existe un amplio conocimiento respecto a las prácticas agrícolas para su obtención, en la que la mayor parte de las actividades se desarrollan manualmente, sin embargo, el auge en el comercio exterior y, especialmente, en la producción, han despertado un interés por el estudio del tema, desarrollando nuevas tecnologías por parte de diferentes centros gubernamentales, universidades, centros de desarrollo tecnológicos entre otros, los cuales han desarrollado diversos métodos entre los que se destacan el uso de sembradoras (SATIRI), identificación de condiciones ideales del suelo para su cultivo, mejoramiento genético en las variedades, evaluación de métodos de riego, utilización de rizobacterias como promotoras del crecimiento, identificación de variedades existentes, caracterización de las

variedades y condiciones de cultivo entre otras. Todo lo anterior generó un conocimiento adicional que permite mejorar el rendimiento de los cultivos.

Referencias

- Abderrahim, F., Huanatico, E., Segura, R., Arribas, S., González, M. C., & Condezo-Hoyos, L. (2015). Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food chemistry*, 183, 83-90.
- Abugoch, L. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, nutritional, and Functional Properties. Capitulo No 1. En: *Advances in Food and Nutrition. Research. Academic Press*: pp.1-32.
- AGRONET (2016). Estadísticas agrícolas, área y producción de la Quinua en Colombia. Tomado de: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/Precios.aspx>.
- Ames, T., & Danielsen, S. (s.f.). El mildiu de la quinua en la zona andina. Manuel práctico para el estudio de la enfermedad y del patógeno. CIP, Royal Danish Ministry of Foreign Affairs. The Royal Veterinary and Agricultural University.
- Apaza, Vidal., Cáceres, Gladys, Estrada, Rigoberto, Pinedo Rember. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura e Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). p. 82.
- Aroni J C, M Cayoja y M Laime. (2009). Situación Actual al 2008 de la Quinua Real en el Altiplano Sur de Bolivia, Fundación FAUTAPO, p. 180.
- Aroni, JC. (2005). Fascículo 5 – Cosecha y poscosecha. In: PROINPA y FAUTAPO (eds). Serie de Módulos Publicados en Sistemas de Producción Sostenible en el Cultivo de la Quinua: Módulo 2. Manejo agronómico de la Quinua Orgánica. Fundación PROINPA, Fundación AUTAPO, Embajada Real de los Países Bajos. La Paz, Bolivia. Octubre de 2005. pp. 87-102.
- Bazile, D., Baudroin, A., Del Castillo, C., Delfino, I., Alanoca, C., Alercia, A., . . . Baudron, F. (2014). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. Chile y Montpellier: FAO y CIRAD.
- Bergesse, A., Boiocchi, P., Calandri, E., Cervilla, N., Gianna, V., Guzmán, C., Mufari, J. (2015). Aprovechamiento integral del grano de quinua. Córdoba: Graso Florencia V.

- Camacho, O., Melgarejo, S., Torres, C., Puertas-Mejía, M., Rojano, B. (2016). Correlación del contenido de fenoles y antocianinas con la capacidad antioxidante *Syzygium cumini* (L.) Skeels, (*Jambolan*). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 21(1), pp. 63-70.
- Calla, J., Cortez, G. (2011). Guía Técnica Curso– Taller “Post Cosecha y Transformación de Quinua Orgánica”, Puno Perú, p. 30.
- Camacho, S. (2009). Manual técnico, cultivo de Quinua. Ministerio de Agricultura. Huancavelica, Perú.
- Cerrón, V., Berrios, R., Cerrón, S., & Osorio, J. (2015). Aplicación de tres niveles de abono foliar a base de stevia al cultivo de Quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) en condiciones de El Mantaro, Jauja. *Convicciones*, pp. 46-49.
- Chaparro, D., Pismag, R., Elizalde, A., Vivas, N., Erazo, C. (2010). Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y guandul. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 8(1), pp. 35-42.
- Corzo, D. (2008). Análisis y selección de diferentes métodos para eliminar las saponinas en dos variedades de *Chenopodium quinoa* Willd. *Pérez Arbelaezia*. 19: pp. 153-162.
- Cossio, J., & Aroni, G. (2011). Evaluación técnica y económica de dos sistemas de riego para la producción de la quinua. *Congreso científico internacional de quinua y granos andinos*. La Molina: Universidad Nacional Agraria La Molina. pp. 70-71.
- Danielsen, S., Bonifacio, A., & Ames, T. (2003). Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Reviews International*, pp. 43-59.
- Delgado, A., Palacios, H., & Betancourt, C. (2009). Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). *Agronomía colombiana* 27(2), pp. 159-167.
- FAO. (2011). La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinua_es.pdf.
- FAO, & ALADI. (2014). Tendencias y perspectivas del comercio internacional de quinua. Santiago.
- FAOSTAT (2016). Dirección de estadísticas, área y producción de la Quinua. Tomado de: <http://faostat3.fao.org/search/QUIA/S>.

- Fischer Agro. (2016). Catalogo de productos – Trilladoras de quinua. Disponible en www.fischer-peru.com.
- García, R. (2015). Efecto de sistemas de labranza en propiedades físicas del suelo y desarrollo radicular del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.). Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), pp. 109-113.
- Gómez Pando, L., & Aguilar Castellanos, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. Lima: FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Graf, B. L., Rojas-Silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-Herrera, J., Baldeón, M. E., & Raskin, I. (2015). Innovations in health value and functional food development of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(4), pp. 431-445.
- Haycho, H., Molina, E., Cadena, F., Quispe, A., Morales, I., Bosque, H., & Trigo, R. (2011). Uso de bacterias fijadoras de nitrógeno con diferentes niveles de abonamiento orgánico en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). La Molina: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Huaycho, H., Molina, E., Cadena, F., Bosque, H., & Trigo, R. (2013). Identificación de los mecanismos agro-fisiológicos que responden a los factores abióticos en cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) en dos épocas de siembra en el altiplano sur de Bolivia). Congreso científico internacional de quinua y granos andinos (págs. 30-31). La Molina: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- IBNORCA. (2010). Norma Boliviana NB NA 0038–Granos Andinos – Pseudo cereales – Quinua en grano – Clasificación y requisitos. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.
- Jorge, P. & Troncoso, L. 2016. Capacidad antioxidante del fruto de la *Opuntia apurimacensis* (*Ayrampo*) y de la *Opuntia ficus-indica* (*Tuna*). *Anales de la Facultad de Medicina*. 77(2): pp. 105-109.
- Mamani, F. (2004). Evaluación Agronómica de variedades de quinua. En Informe Anual de la Estación Experimental de Belén. La Paz.
- Navruz-Varli, S., & Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*. 69: pp. 371-376.
- ODEP, Ministerio de Agricultura (2013). Quinua: ¿Empresarial o autoconsumo? Chile. Consultado en: http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1388776534Quinua.pdf.

- Paško, P., Barto, H., Zagrodzki, P., Gorinstein, S., Fořta, M., & Zachwieja, Z. (2009). Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry*, 115(3), pp. 994-998.
- PROINPA. (2005). Manejo agronómico de la quinua orgánica. La Paz: Fundación Proinpa Quiroga, C., Escalera, R., Aroni, G., Bonifacio, A., Gonzalez, J., Villca, M., Saravia, R., Ruiz, A. 2014. Procesos Tradicionales e Innovaciones Tecnológicas en la Cosecha, Beneficiado e Industrialización de la Quinua. Capitulo Numero 3.1. In: Bazile D. et al. (Editores), "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 65-93.
- Rodríguez, E., Toledo, F., Caballero, J., Bermejo, J., Estevez, F. (2016). Actividad antioxidante de los polifenoles de *Hypogymnia tavaresii* D. Hawksw. & P. James. *Química Nova*. 39(4): 456-461.
- Rojas, W., Pinto, M., Alanoca C., Gómez, L., León, P., Alecia, A., Diulgheroff S., Padulosi S., Bazile, D. (2014). Estado de la conservación ex situ de los recursos genéticos de quinua. Capitulo Numero 1.5. In: Bazile D. et al. (Editores), "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 65-93.
- Rojas, W., M. Pinto, Soto, J.L., Alcocer, E. (2010). Valor nutricional, agroindustrial y funcional de los granos andinos. In: W. Rojas, M. Pinto, J.L. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds.). *Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Bioersivity International, Roma, Italia. Pp. 151-164.
- Rojas, W., Pinto, M., & Soto, J. (2011). Distribución geográfica y variabilidad genética de los granos. In: W. Rojas, M. Pinto, J.L. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds). *Granos Andinos*: Roma.
- Repo-Carrasco, R., Hellström, J. K., Pihlava, J. M., & Mattila, P. H. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry*, 120(1), pp. 128-133.
- Repo-Carrasco, R. & Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 74(2): pp. 85-99.

- Ruiz, K. B., Aloisi, I., Del Duca, S., Canelo, V., Torrigiani, P., Silva, H., & Biondi, S. (2016). Salares versus coastal ecotypes of quinoa: salinity responses in Chilean landrace from contrasting habitats. *Plant Physiology and Biochemistry*, 101, pp. 1-13.
- Soto, J., Hartwich, F., Monge, M., & Ampuero, L. (2009). Innovación en el cultivo de quinua boliviana: Efectos de la interacción social y de las capacidades de absorción de los pequeños productores. *Revista Análisis*, pp. 17-20.
- Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., & Tsao, R. (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, 166, pp. 380-388.
- Tapia, M. (1982). El proceso agroindustrial del tarwi. II Conferencia internacional del Lupino. Torremolinos: Anales.
- Tapia, M. (1997). Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Santiago de Chile: FAO.
- Tapia, M., & Fries, A. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos. Lima: FAO y ANPE.
- Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., & Mujica, A. (1979). Quinoa y la kaniwa: cultivos andinos. Bogotá: CIID. Oficina Regional para la América Latina.
- Toapanta, I. (2016). Duración de las etapas fenológicas y de profundidad raticular del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) var. Tunkahuán en el sector de Querochaca, Cantón Cevallos, provincia de Tungurahua. Cevallos, Ecuador: Tesis para optar al título de ingeniera agrónoma. Universidad Técnica de Ambato.
- Vidalón, C. (1944). La quinua: botánica, cultivo y utilización. *Agronomía*, pp. 37-47.
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), pp. 2541-2547.
- Zuñiga, D., Llçeta, M., Hurtado, C., Barrientos, E., Ascencio, P., & Ogata, K. (2011). Efectos de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en el crecimiento de plántulas de quinua. Congreso científico internacional de quinua y granos andinos (págs. 34-35). La Molina: Universidad Nacional Agraria La Molina.

3. Manejo de cosecha y poscosecha de mango (*Mangifera indica* L.)

Diana Cristina Moncayo Martínez
Nidia Casas Forero

3.1 Introducción

El mango (*Mangifera indica*) es nativo del sudeste de Asia y es una de las frutas tropicales más importantes en el ámbito mundial, pues tiene un alto contenido de vitamina A y fibra. Es considerada como una fruta perecedera y susceptible a enfermedades por los cambios climáticos que ocurren después de su cosecha. El mango es un árbol frutal que es ampliamente cultivado en diferentes regiones del mundo y los principales países exportadores son la India, México, Perú y Brasil. El cultivo del mango se ha incrementado en el país, siendo las principales regiones de producción la costa atlántica (Magdalena, Bolívar, Atlántico, Cesar y Córdoba), centro-occidente (Antioquia) y centro (Cundinamarca y Tolima). La mayor parte de la producción nacional se consume en el mercado interno como fruta fresca, jugos y néctares, y el principal renglón de exportación es la pulpa de mango (Alvarado, 2012).

La tecnificación del cultivo inicia desde el proceso de selección de la semilla y termina garantizando la calidad e inocuidad del producto. El manejo poscosecha ha sido una alternativa para mejorar las características organolépticas del producto y garantiza su vida útil por un prolongado tiempo. En este capítulo se presentan aspectos relacionados con el cultivo, así como las etapas

de manejo poscosecha del producto y alternativas de manejo que permitan conservar las características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas garantizando la calidad a los consumidores.

3.2 Producción de mango

La India es el primer productor mundial de mango con una producción en toneladas anuales de 15 millones y un porcentaje de participación de 42,3%, seguido por China con 4 millones de toneladas y porcentaje 11,3%, y Tailandia con 2.7 millones de toneladas y porcentaje 6,6%; Colombia ocupa el puesto número veinte con una producción de 235 mil toneladas y un porcentaje de participación del 0,6% (ASOHOFrucol, 2012). En la Tabla 1 se indican las estadísticas de producción de mango en el ámbito mundial para el año 2012 de acuerdo con el departamento de estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOstat).

Tabla 1. Estadísticas de producción de mango en el ámbito mundial

Posición	Región	Producción (t)
1	India	15.250.000
2	China, Continental	4.400.000
3	Kenia	2.781.706
4	Tailandia	2.650.000
5	Indonesia	2.376.339
6	Pakistán	1.950.000
7	México	1.760.588
8	Brasil	1.175.735
9	Bangladesh	945.059
10	Nigeria	860.000
14	Cuba	389.576
16	Perú	355.431
20	Colombia	235.319

Fuente: FAOstat (2016)

Dentro de este nivel de producción, existe un sin número de variedades sobre las que se han realizado modificaciones para mejorar su características de

calidad, como la resistencia a enfermedades, principalmente, el problema de antracnosis y la mosca de la fruta. Dentro de las variedades más cultivadas están: Tommy Atkins, Kent y Keitt. En la Tabla 2 se indican nueve (9) variedades de mango con una descripción y sus principales características de calidad.

Tabla 2. Descripción de variedades de mango

Variedad de mango	Descripción	Características del mango	Fuente
Tommy Atkins	Fruto de excelente calidad, predomina el color rojo, de forma redonda y tamaño mediano. La pulpa es jugosa con poco contenido de fibra.	Color: amarillo / rojo Tipo: redondo Peso: 450-700 gr Fibra: regular	SAGARPA (2009)
Kent	Un fruto de color verde amarillento con algunos tonos rojos. Presenta la desventaja de ser muy susceptible a la antracnosis, debido a que la época de cosecha coincide en la temporada de lluvias.	Color: amarillo / rojo Tipo: redondo Peso: 450-700 gr Fibra: muy poca	SAGARPA (2009)
Keitt (Farchild)	Fruto grande con un peso que va de 600 a 800 gr. La base del fruto es de color verde con tonos rosa rojizo. Tiene pulpa dulce con poca fibra.	Color: rosado / amarillo Tipo: redondo Peso: 510-2000 gr Fibra: muy poca	SAGARPA (2009)
Ataulfo	Su fruto ha tenido gran aceptación por su excelente calidad y resistencia al manejo en el cultivo.	Color: amarillo Tipo: alargado Peso: 180 - 260 gr Fibra: muy poca	SAGARPA (2009)
Haden	Fruto que presenta una base de color amarillo con tonos rojos, que lo hace muy atractivo.	Color: amarillo / rojo Tipo: redondo Peso: 510-680 gr Fibra: muy poca	SAGARPA (2009)
Palmer	Un fruto de considerable tamaño, piel delgada y adherida al mesocarpo. Su pulpa es firme de color anaranjada, aroma moderado y sabor agridulce.	Color: amarillo / anaranjado Tipo: oblonga y elongado Peso: 510 - 850 gr Fibra: pocas	Sergent (1999)
Hilacha	Es un fruto de mediano tamaño, de excelente dulzura y la piel esta poco adherida al mesocarpo.	Color: verde / amarillo Tipo: Redondo Peso: 180-250 gr Fibra: muchas largas y gruesas.	Sergent (1999)

Variedad de mango	Descripción	Características del mango	Fuente
Yulima	La forma del fruto es alargado y presenta una ligera protuberancia en su ápice; el color del fruto es amarillo y rojo intenso; presenta alto contenido de trementina, que ocasiona un sabor ácido.	Color: amarillo / rojo Tipo: alargado Peso: 500 - 550 gr Fibra: pocas	Asoho-frucol & Corpoica. 2013
Mango de azúcar	El mango de azúcar presenta una alta demanda como fruta fresca en el exterior por su tamaño pequeño, escasa fibra, buen aroma y sabor.	Color: amarillo / rojo Tipo: alargado Peso: menos de 200 gr Fibra: escasa	Corrales-Bernal et al. (2014)

El mango producido en Colombia se encuentra cultivado en 13 departamentos, de los cuales Cundinamarca es el primer departamento de mayor producción; en este se concentra un 33,57% de la producción nacional, seguido por los departamentos de Tolima, Magdalena, Bolívar y Córdoba. En la Tabla 3 se muestran las estadísticas de producción de mango en Colombia para el año 2013, siendo las principales variedades cultivadas: Tommy Atkins, Keitt, hilacha, mango de azúcar, Yulima, Kent, Filipino y Vallenato.

Tabla 3. Producción de mango en Colombia para el año 2015

Nº	Departamento	Área cosechada (hectáreas)	Producción (toneladas)	% Participación nacional
1	Cundinamarca	11.847	113.171	35,52
2	Tolima	6.431	79.545	24,96
3	Magdalena	2.602	26.136	8,20
4	Antioquia	2.788	23.385	7,34
5	Atlántico	2.225	20.195	6,34
6	Bolívar	2.260	19.055	5,98
7	Córdoba	2.195	16.481	5,17
8	Cesar	913	8.352	2,62
9	Cauca	474	2.925	0,92
10	Caldas	570	1.740	0,55
11	Huila	207	1.739	0,55
12	Sucre	425	1.666	0,52
13	La Guajira	261	1.322	0,41

N°	Departamento	Área cosechada (hectáreas)	Producción (toneladas)	% Participación nacional
14	Valle del Cauca	171	1.082	0,34
15	Nariño	99	660	0,21
16	Santander	114	550	0,17
17	Boyacá	156	352	0,11
18	Norte de Santander	16	166	0,05
19	Casanare	22	108	0,03
	Total	33.774	318.628	100,00%

Fuente: Agronet (2016)

3.3 Cosecha de mango

El mango es un árbol de crecimiento erecto, que tiene diferentes ramificaciones, formando en la parte superior una copa de forma ovalada. Las hojas son alternas, lisas y brillantes, de color verde oscuro. Las flores forman una panícula de color verde amarillento, que puede tener hasta 30 centímetros de longitud. Su raíz es pivotante, aunque en su mayoría son raíces absorbentes que se encuentran en los primeros 50 cm, desarrollando raíces extendidas en forma horizontal. Las flores pueden ser hermafroditas o masculinas en la misma panícula, predominando las últimas. El fruto es una drupa carnosa, cuya forma, color, tamaño y peso depende de la variedad, condiciones agroecológicas y manejo (Bancoldex, 2015). El mango pertenece a la familia *Anacardiaceae*, tiene la siguiente clasificación taxonómica reportada en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación taxonómica del mango

Reino	<i>Plantae</i>
Phylum	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Sapindales</i>
Familia	<i>Anacardiaceae</i>
Género	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>Mangifera indica</i>

Fuente: CABI (2015)

Para garantizar la cantidad de producción de cada árbol y la calidad del producto, es necesario implementar en el cultivo estrategias que permitan asegurar estos aspectos. A nivel agronómico se recomienda la realización de podas frecuentes, manejo de plaguicidas, abonos, riego, entre otros. A continuación son descritos algunas de las herramientas.

Podas

En el árbol de mango se realizan diferentes tipos de podas, las cuales buscan mejorar las condiciones de aireación, penetración de la luz, reducir las condiciones favorables para la presencia de plagas o enfermedades, así como facilitar algunas prácticas de manejo y hacer que el árbol sea más productivo. Asofrucol y Corpoica (2013) presentan las características de las podas a realizar en el cultivo, las cuales se detallan a continuación.

- **Poda de formación.** Se realiza cuando los árboles tienen de 80 a 100 cm de altura; se hace el corte para que los brotes que salgan no estén en el mismo plano y se distribuyan durante el crecimiento. Se seleccionan de 3 a 5 brotes, dejando una distancia similar entre uno y otro. Cuando estos brotes alcanzan 80 cm de longitud se procede de la misma manera que en el primer corte, se busca una buena arquitectura del árbol.
- **Poda de producción.** Se busca estimular la brotación de los árboles, para obtener una mayor producción y calidad de fruta.
- **Poda sanitaria.** Se realiza después de la cosecha para eliminar las ramas secas, enfermas y dobladas.
- **Poda de aclareo de copa.** Se realiza cuando la copa del árbol se encuentra muy desarrollada, e impide la penetración de la luz a la planta, lo cual afecta el proceso de fotosíntesis, además de generar un ambiente favorable para la presencia de plagas y enfermedades.

Fertilización

En cuanto a fertilización existen en el mercado productos que garantizan su eficacia y mejoran la producción de los cultivos. Entre los fertilizantes pueden

encontrarse algunos de tipo orgánico o químicos, entonces, su uso dependerá de las condiciones que cada agricultor instale en su cultivo.

- **Abonos orgánicos.** Con el propósito de tener alternativas a los abonos químicos, se ha retomado la elaboración de los abonos orgánicos, utilizando materiales disponibles en las fincas. Los abonos orgánicos se pueden elaborar a partir de materiales orgánicos. Dentro de ellos tenemos el obtenido a partir de residuos sólidos domiciliarios mediante el uso del Bokashi-EM y el compostaje.

Bokashi-EM. El Bokashi-E es un método intensivo de compostaje y se elabora a partir de un cultivo iniciador empleando salvado de trigo o salvado de arroz. Es fácil y económico de realizar (Benzaim, 2012). En el Figura 1, se encuentra el proceso a realizar para la obtención de este abono.

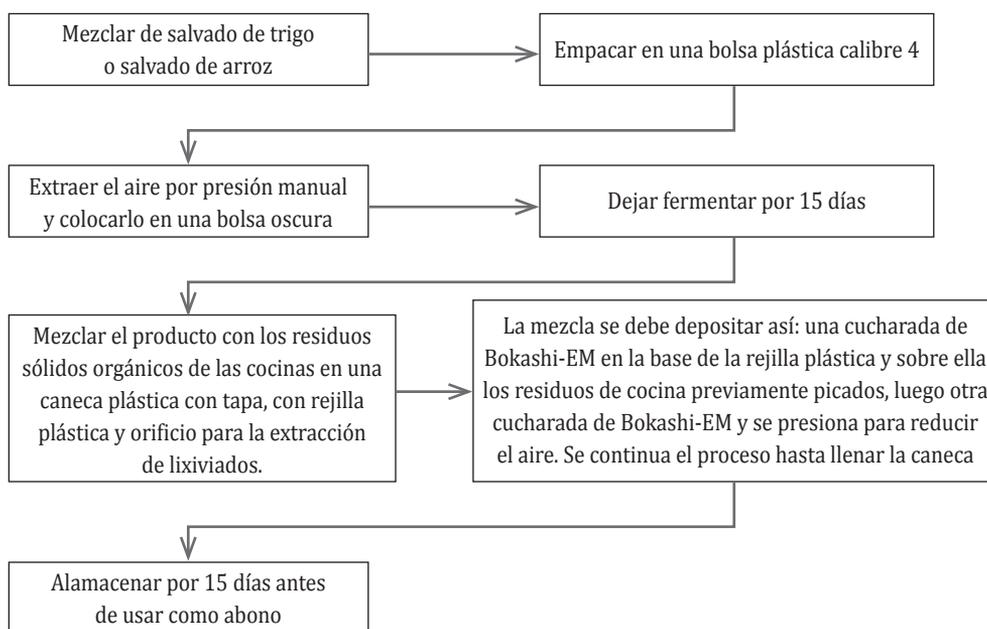


Figura 1. Elaboración de Bokashi-EM casero

Compostaje

El compostaje es un proceso biológico aeróbico mediante el cual los microorganismos benéficos actúan sobre la materia orgánica biodegradable, para obtener compost. El compost puede fabricarse con materiales orgánicos, entre ellos: estiércol de animales (de bovinos, porcinos, gallinas), residuos de plantas (tamo de cereales, cascarilla de arroz, entre otros), de alimentos (frutas y hortalizas), residuos de cosecha o de molinería, melaza y carbón vegetal. El uso de compost mejora las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. Entre los principales beneficios de su uso se encuentran:

- Suministrar materia orgánica, la cual mejora las condiciones físicas del suelo, permitiendo una mayor retención de humedad.
- Suministrar elementos mayores como nitrógeno, fósforo y potasio.
- Los elementos son liberados lentamente.

El compost es fácil de realizar, pero se deben tener algunas consideraciones importantes durante el proceso de elaboración como: prepararlo en un sitio sombreado evitando la luz directa del sol y protegiéndolo de la lluvia. En la Figura 2 se encuentra el paso a paso para obtener compost casero (Benzaim, 2012).

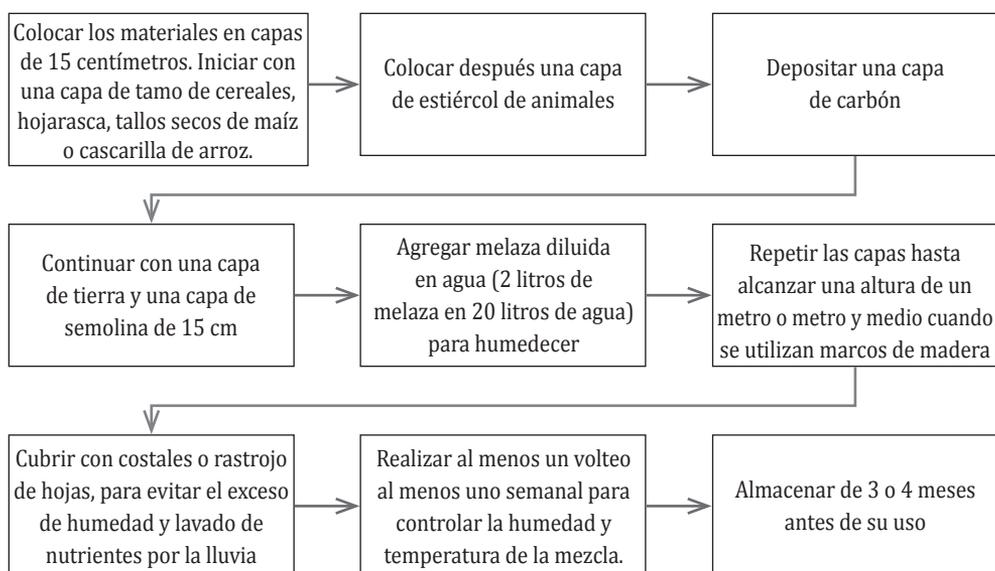


Figura 2. Elaboración de compost casero

La aplicación del compost para los árboles que se encuentran en crecimiento, se debe realizar en una franja hacia la mitad entre el centro de la copa y la zona de goteo.

Manejo integrado de enfermedades

Para mantener los niveles altos de producción es necesario prevenir las enfermedades causadas por patógenos y los daños ocasionados por los insectos plaga. Las principales enfermedades presentes en los cultivos de mango son antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), fumagina (*Capnodium mangiferae*), secamiento de ramas (*Lasiodiplodia* spp.) y malformación de la inflorescencia (*Fusarium subglutinans*). No obstante, la presencia de las enfermedades difieren de acuerdo a la variedad, el manejo y a las condiciones ambientales de cada zona productora (Asofrucol y Corpoica, 2013).

El organismo causal de antracnosis es *Colletotrichum gloeosporioides*. En los frutos verdes se desarrolla una mancha de color café, que generalmente no se extiende hasta que el fruto madura. Los síntomas son más evidentes en la maduración del fruto, donde se presentan lesiones irregulares de color café oscuro a negras cuando se presenta el cambio de color del fruto. Las lesiones tienen mayor incidencia en la zona cercana al pedúnculo e inicialmente son superficiales. La enfermedad se ve favorecida por altas humedades relativas, por lo que una de las prácticas de manejo es realizar podas en los árboles, con el propósito de mejorar las condiciones de aireación. Cuando se presentan los síntomas de la nariz blanda, la cual ocasiona un ablandamiento del tejido en el ápice, la pulpa se ve pasada de maduración decolorándose y esponjándose. Este desorden puede estar relacionado con una deficiencia de calcio y exceso de nitrógeno.

Manejo integrado de plagas

Es importante conocer las principales plagas que afectan al cultivo, con el fin de conocer su ciclo de vida, tipo de daño, hospederos alternantes y así poder establecer las prácticas de manejo más adecuadas. La principal plaga que afecta al mango es la mosca de la fruta (*Anastrepha* sp.), en importancia le siguen los ácaros, los trips, la cochinilla acanalada y en menor proporción

los áfidos. Las moscas de las frutas ovipositan en los frutos de mango, por lo cual sus larvas consumen la pulpa, creando deterioro del producto. Debido a ello los frutos caen al suelo y son un medio propicio para que el insecto complete su ciclo. Con el fin de romper con el ciclo biológico del insecto, se deben embolsar los frutos caídos en bolsas oscuras y de calibre grueso para que no se rompan fácilmente (Asofrucol y Corpoica, 2013).

Para el monitoreo de la mosca de las frutas se usa la trampa McPhail, utilizando proteína hidrolizada, colocando cinco trampas distribuidas al azar en el cultivo y ubicándolas a la sombra en la parte media del árbol. Otras prácticas de manejo consisten en la eliminación de plantas que sean hospederos alternantes de la mosca. Así mismo, se puede realizar podas de mantenimiento que permitan tener mayor aireación en el cultivo, y también para disminuir su población se realizan aplicaciones de ajo-ají.

Manejo poscosecha de mango

La calidad con la que un fruto logra llegar al consumidor dependerá de las condiciones previas de cultivo y manejo poscosecha que se tengan. Por tanto, para lograr cumplir los estándares de consumo y calidad requeridos para la comercialización, tanto en mercados nacionales como internacionales, es necesario realizar con precaución etapas de acondicionamiento, clasificación, envasado, almacenamiento, transporte, entre otras, que minimicen el deterioro del fruto. De cada una de estas etapas dependerá la calidad final del producto entregada al consumidor y, por tanto, de su decisión de compra. En la Figura 3 se esquematiza las operaciones unitarias para el manejo poscosecha de mango, cada una de las etapas se describirá con mayor detalle en los siguientes apartados del capítulo.

Recolección. Cuando los frutos comienzan a madurar se presentan cambios en el color de la cáscara y de la pulpa, en su consistencia, sabor, composición, grados Brix, los cuales sirven como criterios para realizar la cosecha. En Cundinamarca se presentan dos cosechas en el año, la primera en el mes de julio y la segunda en los meses de diciembre a enero.



Figura 3. Esquema del proceso de poscosecha del mango

Para la cosecha es conveniente realizar una programación previa, con el propósito de tener organizados y desinfectados los elementos para la cosecha, las cajas plásticas, el sitio de almacenamiento; así como tener capacitados a los operarios, para poder obtener un producto de calidad.

La recolección de este fruto se realiza de forma manual empleando cortadores o tijeras de podar. Se deben utilizar varas con redes y cuchillas para la cosecha de las frutas, así como el tener rejillas para la remoción del látex de la fruta en un sitio sombreado para evitar deshidratación de la fruta. Se recomienda dejar un máximo de 5 mm de pedúnculo. La cosecha debe realizarse a primeras horas de la mañana y evitar que el sol llegue directamente a los frutos recolectados.

Criterios de calidad para clasificación. Entre los criterios de calidad que debe tener esta fruta para su comercialización, se encuentran los reportados por Contreras (2009) y la NTC 1266, los cuales se presentan a continuación:

- Frutos enteros, sin manchas, limpios y exentos de cualquier materia extraña visible.
- Sanos, libres de podredumbre, deterioro o daños fisiológicos.

- Libres de venas que se extiendan bajo la piel.
- Libres de magulladuras y daños mecánicos o por quemaduras del sol, látex, bajas temperaturas y plagas.
- Exentas de humedad externa anormal y de cualquier olor o sabor extraños.
- Consistencia firme y tener un aspecto fresco.
- Suficientemente desarrollada, uniforme en tamaño, según el cultivar que garanticen que el proceso de maduración continúe hasta alcanzar el grado de madurez apropiado.
- Los niveles de residuos de plaguicidas no deben exceder los límites fijados por el Codex alimentario o exigidos por el país de destino.

Clasificación. De acuerdo a la NTC 1266 para mango se tienen tres categorías para la clasificación del fruto, y son:

- **Categoría extra:** las frutas deberán ser de calidad superior y tener las características de color y forma la variedad. Puede presentar imperfecciones leves, siempre que no se afecte el aspecto general del producto.
- **Categoría I:** frutas de buena calidad, podrán tener defectos leves, siempre y cuando no afecten la calidad del producto. Se admiten defectos en forma y defectos leves en el pericarpio debido a raspaduras o quemaduras de sol, manchas endurecidas por exudación de la resina y magulladuras sanas que no excedan el 5% de la superficie total de la fruta.
- **Categoría II:** frutas que no pueden clasificarse en las categorías superiores, pero satisfacen los requisitos mínimos de calidad. Se pueden admitir defectos de forma, defectos de la piel, manchas endurecidas, magulladuras sanas que no excedan el 10% de la superficie total de la fruta.

Existen rangos de tolerancia que pueden manejarse con respecto a la calidad del mango, por ejemplo en categoría extra se admite el 5% en número o en peso de los mangos que no cumplen para esta categoría. La tolerancia para categoría I es del 10% y para categoría II es del 10% del número o peso de mangos que no cumplen con los requisitos de categoría, ni los mínimos exigidos. Se excluyen de este porcentaje los productos que son afectados por pudrición o deterioro y que lo hagan inadecuado para consumir.

El calibre de los frutos está determinado por el peso. En la Tabla 5 se presenta la clasificación para mangos de acuerdo con la NTC 1266.

Tabla 5. Clasificación del mango por su tamaño

Tamaño	Peso Unitario (g)	Intervalo del peso Unitario
A	727	670 en adelante
B	611	579-669
C	546	542-578
D	536	462-541
E	386	370-461
F	352	318-369
G	283	260-317
H	236	219-259
I	209	200-218
J	160	160-199
K	140	120-159

Limpieza. De acuerdo con los resultados obtenidos por Zambrano et al. (2008), una opción para la conservación de este producto es el escaldado de frutos a vapor durante 6 minutos, posteriormente, se extrae la pulpa y se adiciona ácido cítrico al 0,3% y benzoato de sodio al 0,1%. Posteriormente, se empaca en bolsas de polietileno (150 g/bolsa), se sella al vacío y se almacenan por un periodo máximo de 120 días, lo cual permite conservar la pulpa de mango con las características químicas y una calidad sensorial aceptable.

Tratamientos como el anterior disminuyen el contenido de algunos nutrientes, por lo anterior nuevas tecnologías como el Procesamiento de Alta Presión (HPP) permiten mantener el color de la pulpa y retener entre el 85 y 90% del contenido de ácido ascórbico, para lo cual se pueden utilizar presiones de 100 a 600 MPa durante 1 s a 20 min a temperatura ambiente ($30 \pm 2^\circ \text{C}$). Adicionalmente, microorganismos como los coliformes, mesófilos aerobios, bacterias ácido lácticas, psicrotrofos y en menor proporción los mohos y levaduras, son sensibles al tratamiento, con lo que se garantiza la disminución de la carga bacteriana encontrando la condición ideal para el procesamiento

a 600 MPa durante 5 min, de acuerdo con el estudio realizado por Kaushik et al. (2014).

Tratamientos previos al empaque o almacenamiento. Los mangos destinados para exportación a Estados Unidos deben ser sumergidos en agua a 46 °C durante un tiempo de 60-110 minutos, dependiendo de la variedad y tamaño del fruto. Este pretratamiento es avalado por la Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS) de la United States Department of Agriculture (USDA).

Empaques y embalajes. Antes de empaclar los frutos se debe garantizar homogeneidad en el producto tanto en origen y variedad como en calidad y calibre. En esta sección se presentan algunas de las características que deben cumplir los empaques y embalajes empleados para el transporte y comercialización del mango. Los empaques y embalajes son recipientes que contienen un producto y tienen como función facilitar su transporte, protegerlo de daños físicos, químicos y microbiológicos, adicionalmente se emplean para comunicar información y facilitar su venta.

Los embalajes son empleados para almacenar grandes cantidades de producto. Los materiales que se emplean deben ser nuevos, limpios, ecológicamente aceptados y de calidad, asegurando que no ofrezcan una fuente de contaminación, ya sea por transferencia o por contaminación cruzada. Pueden emplearse materiales especiales o papeles impresos, siempre y cuando todos los materiales empleados no sean tóxicos, se debe incluir las tintas y los pegantes usados. Se requiere que los materiales empleados para el embalaje sean los suficientemente resistentes al apilamiento, impactos y vibraciones. La NTC 1266-2 reporta que se puede emplear empaques de cartón, siempre y cuando estos sean nuevos. Los empaques de plástico deben estar limpios y libre de rebabas o aristas que puedan causar daño al producto, adicionalmente se pueden emplear divisiones que eviten el daño por roces.

Transporte. En cuanto al transporte del mango es importante resaltar que en lo posible la fruta debe ser transportada una vez ha sido clasificada, además se debe asegurar que el empaque preserve la calidad del producto desde su recolección hasta su exhibición en anaquel. La NTC 1266-4 recomienda que la capacidad máxima de las cajas sea de 15-20 kg y siempre que sea posible

transportarlo refrigerado. En caso de no ser posible, emplear un material de cobertura aislante que proteja el producto sin impedir la circulación de aire para poder controlar la temperatura.

Características fisicoquímicas y nutricionales del mango

Los frutos de mango tienen un alto contenido de fibra y vitamina A, que lo hacen un alimento con un perfil nutricional adecuado para cualquier grupo etario. En la Tabla 6 se presenta la composición nutricional de producto.

Tabla 6. Valor nutricional de 100 g de pulpa de mango fresca

	Valor nutricional/100g de pulpa
Agua	81,7 g
Proteína	0,51 g
Grasas	0,27 g
Carbohidratos	17,00 g
Fibra dietaria total	1,8 g
Cenizas	0,50 g
Calcio	10 mg

Fuente: Agronet y Corpoica (2013)

En la Tabla 7 se presenta una comparación entre los parámetros fisicoquímicos de tres variedades de mango fresco.

Tabla 7. Caracterización fisicoquímica del mango fresco

Parámetro fisicoquímico	Tommy Atkins ^a	Kent ^b	Haden ^b
pH	3,97 ± 1.00	3,74	3,91
°Brix	12,41 ± 0.46	19,4	14,9
% de acidez	0,6 ± 0.04	0,63	0,83
Índice de madurez	21,32 ± 0.6	30,7	17,95

Fuente: Zuluaga et al. (2010)

3.6 Causas de pérdidas de calidad en mango

Entre los síntomas más comunes asociados con la pérdida de calidad en poscosecha se encuentran el oscurecimiento de las lenticelas, el picado de la cáscara, el escaldado y la maduración irregular. Adicionalmente, en la parte interna los frutos pueden presentar un oscurecimiento de la pulpa y el desarrollo de algunas enfermedades. También, se pueden presentar manchas látex, signos de deshidratación, daño mecánico que afectan las características visuales del producto y pueden ocasionar la aceleración del daño microbiológico.

Los daños asociados que durante el almacenamiento se encuentran son: el congelamiento del producto, daño por altas temperaturas, pudrición interna, nariz blanda, madurez prematura y daño por frío. Este último ocurre a temperaturas inferiores a 10 °C. Los síntomas son áreas claras y hundimientos en la piel, manchas en piel, oscurecimiento de la pulpa, maduración anormal, pobre color y sabor.

Almacenamiento. Durante el almacenamiento de productos hortofrutícolas es importante el control de temperatura y humedad, de tal manera que se logre mantener las características fisicoquímicas y microbiológicas por un tiempo mayor. La selección y control de estas variables permitirán asegurar la calidad del producto final y, por tanto, su valor comercial dependerá de la variedad de mango (Sergent, 1990).

Entre los requisitos mínimos de almacenamiento de acuerdo con la NTC 1266-3 se encuentran: reunir condiciones higiénicas óptimas, ventilación y luz. El lugar destinado para el almacenamiento de los mangos debe ser de fácil limpieza, evitar el ingreso de plagas. Posterior a la recolección del mango se recomienda un almacenamiento bajo refrigeración durante las ocho (8) horas siguientes a la cosecha, con el fin de disminuir la temperatura interna del producto y lograr conservar por más tiempo el producto. Las condiciones recomendadas son un enfriamiento de la pulpa entre 18 °C y 15 °C, garantizando una humedad relativa cercana al 90%.

La NTC 1266-3 sugiere dos rangos de temperatura de almacenamiento dependiendo de la madurez del fruto. Para mangos con madurez fisiológica, el almacenamiento se realizará entre 13 °C y 15 °C, para mangos maduros recomienda el manejo de temperaturas entre 9 °C y 12 °C.

Efecto de la temperatura. Estudios realizados por investigadores como Osuna (2015), demuestran que existe un efecto claro entre la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre la firmeza en variedades de mango 'Tommy Atkins' y 'Keitt', ya que a menor temperatura la firmeza es mayor, y en sentido inverso para el tiempo de almacenamiento, a mayor tiempo de almacenamiento menor firmeza. Adicionalmente, los investigadores encontraron que las bajas temperaturas pueden ocasionar daños por frío, concluyendo que las temperaturas de almacenamiento óptimas para la variedad 'Kent' es 7.5°C y de 10°C para mango 'Tommy Atkins' y 'Keitt'.

3.7 Nuevas tecnologías de manejo del mango

Atmósferas modificadas. El almacenamiento de productos alimenticios en atmósferas modificadas tiene como principio la sustitución del aire que se encuentra al interior del envase por un gas o mezcla de gases. Entre los gases que comúnmente se emplean están el nitrógeno, el oxígeno y el dióxido de carbono, los cuales combinados con el almacenamiento en refrigeración extienden la vida útil del producto sin modificar su calidad. En el estudio realizado por Reales y Fernández en 2010, se emplearon mezclas que contenían 3% O₂-3% CO₂-94% N₂; 4%O₂-7% CO₂-89% N₂; 5% O₂-5% CO₂-90% N₂ para conservar mango variedad vallenato. Se encontró que durante 39 días se conserva la calidad de los frutos sin modificar los sabores y aromas. Otros estudios como los realizados por Carrera et al. (2009), en los cuales se evaluó el comportamiento de cinco variedades tratadas con CO₂ en cuanto a parámetros fisicoquímicos durante el almacenamiento, se encontró que no existen diferencias significativas entre los frutos control y los tratados, pero se dio un incremento en los sólidos totales y una disminución en el porcentaje de acidez.

Así mismo, dentro de esta tecnología se ha evaluado el uso de atmósferas con altos contenido de CO₂ (3%, 5% y 10%) para almacenar cubos de mango a 5 °C y 13 °C; encontrando que el incremento del contenido de CO₂ en el empaque permite incrementar a vida útil del mango en tres días, siendo la mejor condición el 10% de CO₂, tratamiento que permite reducir en mayor proporción la población microbiana (Poubol & Izumi, 2005).

Recubrimientos comestibles. Los recubrimientos comestibles aplicados en productos alimenticios no son una técnica novedosa, fueron empleados en la antigüedad

para preservar y mantener productos en época de escasas. En la actualidad su uso está en aumento debido a las nuevas fuentes de materiales que permiten conservar la frescura y calidad fisicoquímica y organoléptica de los productos. Para el mango entero se encuentra la aplicación de cera carnauba la cual ayuda a mejorar la apariencia del fruto y a disminuir la pérdida de agua durante el almacenamiento.

Investigadores como Rico (2012) emplearon quitosano como polímero para lograr conservar la calidad fisicoquímica y microbiológica de mango mínimamente procesado, encontrando que el tratamiento mantiene la calidad del producto durante el almacenamiento por la reducción en la presencia de microorganismos como coliformes, psicrófilos, hongos y levaduras. Hoa y Ducamp (2008) estudiaron el efecto de recubrimientos a base de lecitina de soya, cera carnauba y eugenol en los cambios bioquímicos de mango mínimamente procesado, encontrando que estos mejoran la apariencia del producto y reduciendo la pérdida de peso durante el almacenamiento, prolongando la vida útil del producto en tres días más. Al aplicar un recubrimiento de goma gellan en mango cortado, se encontró que parámetros como la estabilidad, la firmeza, apariencia, color y contenidos de volátiles se conservan durante el almacenamiento en refrigeración (Danalache et al., 2016).

Tecnologías de barrera. Teniendo en cuenta que las tecnologías de barrera buscan el incremento de la vida útil de los productos frescos, a través de aplicación de la combinación de diferentes tratamientos, Pacheco & Trujillo (2010) en su estudio evalúan la conservación de la calidad del mango verde (*Mangifera indica* L) variedad Tommy Atkins, por medio de la aplicación de tecnologías de obstáculos o de barrera. Para ello, los autores del estudio aplicaron barreras de temperaturas bajas y control en el pH y la acidez, mediante la utilización de ácidos orgánicos (ácido cítrico y ascórbico al 1 y 0.5%), retenedores de firmeza (cloruro de calcio al 1%) y humectantes (sorbitol). Los resultados obtenidos indican que el ácido cítrico y ascórbico al 1 y 0.5%, en mezcla con cloruro de calcio a 1% y sorbitol en la misma proporción de los sólidos solubles totales, aplicados por inmersión o impregnación al vacío durante 10 minutos, asegura la conservación de las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas de la fruta por 7 días en almacenamiento a la temperatura de 7 °C.

Luz UV-C. La luz UV-C es una tecnología aplicada para aumentar la vida útil de las frutas, sin embargo, esta puede generar cambios bioquímicos. Gonzá-

lez-Aguilar et al. (2007) estudiaron el efecto de la aplicación de tratamientos de UV-C en la bioquímica y calidad del mango al ser expuesto a niveles de energía de irradiación de 2,46 y 4,93 kJ/m² y luego de ser almacenados durante 18 días a 25°C, encontraron que estos tratamientos mantuvieron la calidad total del mango, con un menor porcentaje de descomposición y un mayor tiempo de vida útil, por lo cual este tratamiento de UV-C puede ser una buena alternativa para aumentar la vida útil en condiciones óptimas del mango.

Esta misma tecnología aplicada en mango precortado fue estudiada por Charles et al. (2013), quienes aplicaron un nivel de luz UVC de 8 J/cm en cubos de mango de 2 cm de lado y almacenada durante 7 días a 6 °C; encontrando que el tratamiento permite mantener la firmeza, el color y el contenido de carotenoides de mangos precortados, induciendo un aumento en la actividad de la polifenoloxidasas a los 3 días, lo cual indica que esta podría ser una tecnología para ser aplicada en mango precortado.

Altas presiones. Las Altas Presiones Hidrostáticas (APH), también denominadas pascalización, presurización o simplemente alta presión, es una tecnología de gran interés en la industria de los alimentos debido a que es efectiva en la conservación de los mismos. La APH provoca la inactivación de las células microbianas sin alterar la calidad sensorial ni los nutrientes de los alimentos (Téllez-Luis et al., 2001), por lo cual es de interés en el procesamiento de frutas frescas, como es el caso del mango; matriz en la cual se han evaluado la aplicación de altas presiones (HPP) en la fisiología de poscosecha del mango durante su almacenamiento a 25 °C, después de la aplicación de presurizaciones a 50, 70, y 90 MPa por 9 min, encontrándose que el nivel de presión no inhibe la maduración del fruto pero genera cambios como una reducción en las tasas de respiración y producción de etileno, una ligera reducción en los sólidos solubles totales finales que están asociados con dulzura, y una disminución en la intensidad del pigmento característico fruto de maduro. Sin embargo, los autores sugieren que HPP a 90 Mpa por 9 min, se puede aplicar al mango “Keitt” como un método de cuarentena sin afectar la capacidad de maduración de los mangos (Candelario-Rodríguez et al., 2014).

Esta tecnología también se puede aplicar a productos precortados, por lo cual Boynton et al. (2002) en su estudio, evaluaron la aplicación de altas presiones para la conservación de mangos precortados, para lo cual el

mango fue cortado en cubos de 2,5 cm y empacados al vacío colocando 20 unidades en cada bolsa. Luego se procesaron a 300 MPa y 600 MPa durante 1 min. Se encontró que el tratamiento aplicado reduce el sabor fresco del mango en la primera semana, el cual se mantiene a lo largo de las 9 semanas de almacenamiento, en relación al color y la textura este no se ve afectado de forma significativa. En relación al efecto microbiológico, después de las nueve (9) semanas se redujo los niveles de carga microbiológica frente al producto sin tratamiento.

Métodos combinados

El uso de tecnologías combinadas para mejorar los beneficios en la calidad de productos es una alternativa que permite incrementar su vida útil. Dentro de esto, Salinas-Roca et al. (2016) buscaron en su estudio evaluar la eficacia de la combinación de pulsos eléctricos – PL (0, 10, 15, 20, 25, and 30 pulsos de 0,4 J/ cm²), recubrimiento de alginato–ALC (2%) y la inmersión en ácido málico–MA (2%) en la estabilidad microbiana y la calidad fisicoquímica (color, pH, sólidos solubles y firmeza) de mango almacenado en refrigeración durante 14 días. Los resultados muestran que los tratamientos MA-PL y PL-ALC-MA reducen de forma *L. innocua*, con reportes de 4,5 y 3,9 logUFC/g respectivamente, mientras la carga microbiana en el mango fresco cortado estuvo en 6 log CFU/g al finalizar el almacenamiento.

Este tipo de tratamientos de métodos combinados no solo se aplica en productos procesados sino en productos frescos. Como muestra la investigación realizada por Sripong et al. (2015), quienes investigaron los efectos del agua caliente a 55 °C durante 5 min, la radiación UV-C a una dosis 6,16 kJ m² y su combinación sobre la inducción de la resistencia a la enfermedad antracnosis y en la mejora de la calidad de los mangos almacenados a 13 °C durante 12 días. Encontraron que el tratamiento combinado significativamente suprimió la gravedad de los síntomas de antracnosis. Adicionalmente, las actividades específicas de las enzimas relacionadas clave con la defensa de las plantas, tales como la fenilalanina amonio liasa (PAL), peroxidasa (POD), quitinasa (CHI) y b-1,3-glucanasa (GLU), aumentó tanto en la cáscara y en la pulpa de los frutos de mango. Así mismo, indican que los resultados sugieren que la combinación de agua caliente y el tratamiento UV-C se puede usar como una

herramienta no solo para la supresión de la enfermedad de la antracnosis, sino también para mejorar la calidad de los mangos cosechados mediante la inducción y la expresión de genes relacionados con la defensa de las plantas.

3.8 Conclusión

El cultivo de mango tiene gran potencial de desarrollo en Colombia, requiere de sistemas poco tecnificados pero de gran dedicación para lograr productos de calidad de exportación que mejoren la rentabilidad durante todo el año.

Colombia cuenta con 13 municipios productores de mango, siendo Cundinamarca el más importante, entre las variedades cultivadas se encuentran: Tommy Atkins, Keitt, hilacha mango de azúcar, Yulima, Kent, Filipino y Vallenato. Para lograr productos que cumplan con estándares para la comercialización tanto nacional como internacional es importante el cuidado de los árboles, que incluye la poda y fertilización, esta última puede realizarse con compost elaborado en cada finca, de tal manera que se logre un aporte de nutrientes importantes para mejorar el rendimiento del cultivo.

Adicionalmente un plan para el manejo de plagas y el uso de fertilizantes ofrece garantías para la rentabilidad del cultivo, pues el mango es susceptible al ataque microbiológico ocasionando enfermedades en frutos, tallos, florescencias y hojas como la antracnosis, fumagina, secamiento de ramas y malformación de la inflorescencia. La calidad del producto después de la cosecha en la finca puede preservarse mediante etapas que incluyen la clasificación, enfriamiento y en algunos casos encerado, que permite mantener las características fisicoquímicas y sensoriales, disminuyendo a la vez las pérdidas poscosecha. Finalmente, la calidad del mango producido tiene que ser conservada en la etapa de transporte y comercialización, lográndose con tecnologías como la de atmósferas modificadas, rayos U.V-C, altas presiones y recubrimientos comestibles, además de materiales de empaque y embalaje, y condiciones de temperatura y humedad que permitan garantizar la vida útil del producto.

Referencias

- ASOHOFrucOL. 2012. Congreso Latinoamericano de Mango. El mango, rico en desafíos. Revista de la asociación Hortifrutícola de Colombia–Frutas y Hortalizas. 25: pp. 8-11.
- ASOHOFrucOL & CORPOICA. 2013. Modelo Tecnológico para el cultivo del mango en el Valle del alto Magdalena en el Departamento del Tolima. p. 112.
- Alvarado, J. R. (2012). Situación actual y perspectivas de la cadena productiva del mango en Colombia. Disponible en: http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_217_Situaci%C3%B3n%20actual%20y%20perspectivas%20de%20la%20cadena%20Productiva%20del%20Mango%20en%20Colombia.pdf.
- Asohofrucol- Corpoica. (2013). Modelo Tecnológico para el cultivo del mango en el Valle del alto Magdalena en el Departamento del Tolima. Recuperado de: http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_264_MP_Mango.pdf.
- Benzaim, R. (2012). How to make compost. A mini guide. Smashwords Edition.
- Boynton, B. B., Sims, C. A., Sargent, S., Balaban, M. O., & Marshall, M. R. (2002). Quality and Stability of Precut Mangos and Carambolas Subjected to High-Pressure Processing. *Journal of food science*, 67(1), pp. 409-415.
- CABI. Datasheet *Mangifera indica* (Mango). Recuperado de: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/34505>.
- Candelario-Rodríguez, H. E., Zavala-García, F., Ramírez-De León, J. A., Aranda-Ruiz, J., de Oca, M. M. M., & Velázquez, G. (2014). Effect of high pressure processing on postharvest physiology of 'Keitt' mango. *Postharvest Biology and Technology*, 94, pp. 35-40.
- Carrera, A., Gil, R., Mark, D. (2009). Comportamiento poscosecha de cinco cultivares de mango tratados con CO₂ y almacenados bajo condiciones naturales, en la Estación Experimental de INIA Caripe, estado Monagas. *Revista UDO Agrícola* vol.9, (1) pp. 51-59.
- Contreras, Mayda. (2009). Manejo Poscosecha De Mango. Ministerio de Agricultura y Ganadería Dirección de comercialización Departamento de Asesoría en Mercadeo. Paraguay.
- Corrales-Bernal, Andrea, Maldonado, María Elena, Urango, Luz Amparo, Franco, María Camila, & Rojano, Benjamín Alberto. (2014). Mango de azúcar (Mangifera

- indica), variedad de Colombia: características antioxidantes, nutricionales y sensoriales. *Revista chilena de nutrición*, 41(3), pp. 312-31.
- Charles, F., Vidal, V., Olive, F., Filgueiras, H., & Sallanon, H. (2013). Pulsed light treatment as new method to maintain physical and nutritional quality of fresh-cut mangoes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 18, pp. 190-195.
- Danalachea, F., Carvalhob, C., Alves, V., Moldão-Martins, M., Mata, P. Optimisation of gellan gum edible coating for ready-to-eat mango (*Mangifera indica* L.) bars. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 84, pp. 43-53.
- González-Aguilar, G. A., Zavaleta-Gatica, R., & Tiznado-Hernández, M. E. (2007). Improving postharvest quality of mango 'Haden' by UV-C treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 45(1), pp. 108-116.
- Hoaa, T., Ducamp, M. (2008). Effects of different coatings on biochemical changes of 'cat Hoa loc' mangoes in storage. *Postharvest Biology and Technology*. vol. 48, pp. 150-152.
- Norma Técnica Colombiana (NTC) 1266. (1994). Frutas frescas. Mangos. ICONTEC.
- Norma Técnica Colombiana (NTC) 1266-2. (1995). Frutas frescas. Mangos. Especificaciones del empaque. ICONTEC.
- Norma Técnica Colombiana (NTC) 1266-3. (1995). Frutas frescas. Mangos. Almacenamiento. ICONTEC.
- Norma Técnica Colombiana (NTC) 1266-4. (1995). Frutas frescas. Mangos. Transporte. ICONTEC.
- Osuna, J. (2015). Grado de madurez de cosecha y manejo de temperatura de envío de mango destinado a mercado listo para comer. *Memorias Reunión de extensión NMB*. Los Mochis, Sinaloa.
- Pacheco, P., & Trujillo, Y. (2010). Uso de tecnologías de obstáculos en la conservación de mango (*Mangifera indica* L.) precortado variedad Tommy atkins. @ limentech, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 8(2): pp. 5-15.
- Poubol, J., & Izumi, H. (2005). Shelf Life and Microbial Quality of Fresh-cut Mango Cubes Stored in High CO₂ Atmospheres. *Journal of Food Science*, 70(1), pp. M69-M74.
- Ramírez, R., Quijada, O., Castellano, G., Burgos, M., Camacho, R., Marín, C. Características físicas y químicas de frutos de trece cultivares de mango (*Mangifera indica* L)

- en el municipio mara en la planicie de Maracaibo. Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha, vol. 10, 2, pp. 65-72.
- Reales, J., Fernández, A. (2010). Estudio del método de atmósfera modificada en la conservación de la calidad del mango (*Mangífera indica* L.) variedad vallenato. Alimentos hoy. vol. 21, p. 25.
- Rico, F., Gutiérrez, C., & Díaz, C. (2012). Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano y aceites esenciales en la calidad microbiológica de mango (*Mangifera indica* L.) mínimamente procesado. Vitae, pp. S117-S119.
- SAGARPA – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México. 2009. Identificación de las necesidades logísticas para la comercialización del sistema producto Mango en la Región Noroeste. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/Mangos.pdf.
- Salinas-Roca, B., Soliva-Fortuny, R., Welti-Chanes, J., & Martín-Belloso, O. (2016). Combined effect of pulsed light, edible coating and malic acid dipping to improve fresh-cut mango safety and quality. Food Control, 66, pp. 190-197.
- Sergent, E. 1999. El cultivo del mango ("*Mangifera indica*" L.): botánica, manejo y comercialización. Universidad Central de Venezuela. Vol. 72. pp. 310.
- Sripong, K., Jitareerat, P., Tsuyumu, S., Uthairatanakij, A., Srilaong, V., Wongs-Aree, C., & Kato, M. (2015). Combined treatment with hot water and UV-C elicits disease resistance against anthracnose and improves the quality of harvested mangoes. Crop Protection, 77, pp.1-8.
- Téllez-Luis, S. J., Ramírez, J. A., Pérez-Lamela, C., Vázquez, M., & Simal-Gándara, J. (2001). Aplicación de la alta presión hidrostática en la conservación de los alimentos application of High Hydrostatic Pressure in the food preservation aplicación da alta presión hidrostática na conservación dos alimentos. *CYTA-Journal of Food*, 3(2), pp. 66-80.
- Zuluaga, J., Cortes-Rodríguez, M., Rodríguez-Sandoval, E. (2010). Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 25 (4), pp. 127-135.

4. Usos potenciales de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en la industria alimentaria

Nidia Casas Forero
Sandra Patricia Cote Daza
Diana Cristina Moncayo Martínez
Gloria Helena González Blair

4.1 Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es nativa de la región Andina y ha sido cultivada en la región por cerca de 7.000 años. La quinua ha pasado de un cultivo de subsistencia de comunidades indígenas a convertirse en una de las mayores exportaciones de las naciones andinas de Bolivia y Perú dentro de los últimos 20 años (Bhargava & Srivastava, 2013). La quinua en el campo de la nutrición tiene especial significancia porque aporta alto porcentaje de proteínas (10 – 18%) y minerales como el calcio (Mamani & Echenique, 2013). Además, esta especie de reconocido valor alimenticio se perfila como uno de los cultivos potenciales y prometedores, ante el cambio climático global, para convertirse en producto para el consumo humano en el ámbito mundial, debido a que posee características muy particulares en cuanto a resistencia y tolerancia a factores limitantes como clima y suelo (Bosque et al., 2013).

En Colombia, la quinua se encuentra cultivada en los departamentos de Nariño, Cauca y altiplano Cundiboyacense. Por tratarse de un cultivo de altura,

la quinua se ha desarrollado bien entre los 2.000 y 3.600 m.s.n.m., acepta precipitaciones entre los 600 y 1.200 mm, siendo ideal para Colombia en zonas con promedios de 800 mm anuales. En el país se cultivan variedades amargas, semidulces y dulces, según el contenido de saponinas que presenten. La principal variedad amarga utilizada en la Sabana de Bogotá es la Amarilla de Maranganí; las principales variedades dulces sembradas en el altiplano Cundiboyacense son: Tunkahuan, Blanca Dulce y en el departamento de Nariño siembran la variedad Quillacinga, Piartal y Tunkahuan.

En el ámbito internacional, se observa que los mayores productores de quinua en el mundo son Bolivia, Perú y en menor proporción Ecuador, lo que representa una producción de 114.343 t en la región Andina (FAO, 2015). El comercio mundial de la quinua ha experimentado un crecimiento significativo a partir del 2006, año en que se aceleran las exportaciones desde América Latina, región que alberga a los tres países andinos que contribuyen con más del 80% de las exportaciones mundiales, siendo los principales destinos Estados Unidos, Canadá, Francia, Holanda, Alemania y Australia (Furchea et al., 2014).

La quinua se puede emplear tanto para alimentación humana como animal. Para alimentación humana se puede utilizar el grano entero y la harina, a partir de los cuales se pueden preparar toda clase de comidas, como sopas, panes, preparaciones saladas, pasteles, postres, galletas y bebidas como refrescos y la chicha blanca de quinua, entre otros. A su vez, en la alimentación animal la planta de quinua se utiliza como forraje verde; también se aprovechan los residuos de la cosecha para alimentar vacunos, ovinos, cerdos, caballos y aves. Los granos hervidos son utilizados en la crianza de pollos, patos, pavos y codornices para incrementar el peso de las aves; mientras que los granos germinados en el ganado lechero aumentan considerablemente la producción láctea. Así mismo, la saponina que es retirada de los granos de quinua, se puede utilizar en aplicaciones como controlador de plagas, así como producto para ser empleado en la industria cosmética y farmacéutica (Montoya et al., 2005).

Por tanto, el objetivo de este capítulo es presentar una revisión de los usos potenciales que tiene la quinua dentro de la industria alimentaria, los cuales son alternativas de empleo y comercialización de este grano con tan alto valor nutricional dentro de diferentes industrias alimentarias, como las de panificación, galletería, pastas, bebidas, snacks, cereales, confitería y cárnicos.

4.2 Quinua en la industria de panificación

Para incrementar el valor nutricional de los productos de panificación se vienen realizando estudios en los que se sustituye parte de la harina de trigo por harina de quinua, obteniéndose productos con una percepción visual igual al pan de harina de trigo como se muestra en la Figura 1. García (2011) reporta en su estudio que la formulación con mayor aceptación sensorial y mejores condiciones de volumen del pan, fue el elaborado con 10% de harina de quinua y 90% de harina de trigo, consiguiendo un aumento de 2.2% de proteína. Así mismo, Caicedo & Torres (2015) reportan que con un reemplazo del 13% de la harina de trigo por harina de quinua, se obtiene panes con apropiadas características de calidad con un nivel proteína del 6% (Figura 1).



Figura 1. Pan de quinua

Actualmente, hay un incremento en el número de personas que no pueden consumir con seguridad las proteínas del gluten debido a la enfermedad celíaca, alergias, u otros problemas, lo cual ha llevado a desarrollar investigaciones para obtener productos de panificación libres de gluten. La mayoría de los panes de levadura libres de gluten se hacen con harina de arroz, que es neutra en sabor, fácilmente digerible, pero baja en vitaminas y nutrientes, por lo cual Elgeti et al. (2014) elaboraron pan reemplazando la harina de arroz por harina de quinua, y encontraron que el empleo de quinua en proporciones del 40% permite obtener un pan con una miga que presenta burbujas de gas homogéneas y finamente distribuidas, presentando una buena aceptación sensorial por parte de los consumidores. En otro estudio, Turkut et al. (2016) indicaron que al emplear almidón de papa con harinas de arroz, trigo sarraceno y quinua en una proporción del 25% cada una, y con la adición de 2% de sal, 3% de azúcar, 6% de aceite, 3% de levadura, 0,5 % de goma xanthan y 87% de agua con base en la cantidad de harina, se puede obtener un pan con

buenas características sensoriales y una textura suave, por tanto, la quinua es una buena alternativa para las formulaciones de pan análogos sin gluten.

Machado et al. (2015) evaluaron el uso de harina de quinua y amaranto con diferentes tipos de edulcorantes (stevia, sucralosa, acesulfame-K) en la elaboración de pan a partir de harina de arroz, almidón de papa y mandioca, encontrando que la firmeza y el volumen de los panes obtenidos con el uso de harina de los dos pseudocereales son similares a la formulación control (harina de arroz, almidón de papa y mandioca) y, así mismo, presentaron mayor cantidad de proteínas, lípidos y cenizas, mejorando el perfil nutricional del producto. Los autores indican que estos resultados demuestran que es posible desarrollar panes sin gluten con pseudocereales y edulcorantes con propiedades sensoriales y fisicoquímicas similares a los producidos a base de almidón.

La harina no solo se puede obtener de los granos de quinua, también se puede emplear las hojas deshidratadas y molidas de la planta de quinua como una harina, y esta se puede emplear para la fortificación de panes obteniéndose buenos resultados. Como los reportados por Gawlik-Dziki et al. (2015) en su estudio; pan enriquecido con polvo de hojas de quinua, procedimiento para evaluar la eficiencia de la fortificación en el que se indica que sustituir la harina de trigo hasta un 3g/100gr por la harina de las hojas de quinua, es la óptima para mejorar el potencial antioxidante de pan sin comprometer su calidad sensorial.

4.3 Quinua en la elaboración de galletas

El mercado de galletas se encuentra en expansión debido a que la industria satisface las expectativas cambiantes del consumidor. En décadas pasadas lo más importante era la diversificación (nuevos diseños y sabores), mientras que ahora se exige productos más saludables, es así que las empresas buscan desarrollar galletas con alto valor nutritivo, mayor contenido de fibra, bajas en calorías, sin comprometer su aceptabilidad sensorial. En este contexto, actualmente la industria de galletas busca la sustitución parcial de la harina de trigo por harinas de materias primas con alto valor nutricional, tales como la harina de quinua y de amaranto.

Dando respuesta a estas exigencias del mercado, Velázquez et al. (2014) formuló una galleta enriquecida de alta aceptabilidad mediante la sustitución parcial

(15%) de harina de trigo por una mezcla de harina de quinua, soya y cacao en proporciones entre 14,1%–15%, 0%–1,5% y 0%–0,9% respectivamente, encontrando una alta aceptación general del producto. Por su parte, Bick (2013) evaluó el valor nutricional, las características físicas y sensoriales de una galleta hecha con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinua en concentraciones de 10 al 30%, encontrando que al aumentar la concentración de la harina de quinua, la dureza de las galletas se reduce, permitiendo la incorporación de hasta del 30% de harina de quinua en la galleta presentando características sensoriales aceptables con mayor contenido de proteína.

4.4 Uso de la quinua en la elaboración de pastas

Los problemas de malnutrición y hambre en países en desarrollo, se sustentan en la falta de inclusión de micronutrientes en la dieta y el bajo consumo de alimentos con buena disponibilidad de proteína, energía y micronutrientes. Por lo cual, se ha venido planteando el desarrollo de alimentos de consumo masivo de mayor calidad nutricional a base de cereales diferentes al trigo. Teniendo en cuenta lo anterior, se busca complementar la sémola con harina de quinua, para mejorar la calidad de la proteína, aumentando el contenido de lisina e incrementando el contenido de fibra soluble. Dentro de esta tendencia, Astaíza (2010) realizó su estudio en dos etapas, en el cual se elaboraron pastas enriquecidas con harina integral de quinua con niveles de sustitución del 30%, 40% y 50%, encontrando que la formulación que reemplaza el 30% de harina de trigo por harina de quinua presenta mejores características sensoriales y fisicoquímicas. Posteriormente, incluyó 15% de zanahoria, con lo cual se obtuvo un producto de mayor calidad nutricional y excelente aceptación por parte del consumidor, logrando un aumento en el porcentaje de proteína y fibra de la pasta.

Mastromatteo et al. (2015) buscaron optimizar la formulación de espaguetis frescos y secos libres de gluten a base de quinua, maíz y soja, variando las proporciones de la quinua entre 7,5 y 30%, la harina de maíz entre 20 y 31,25% y la harina de soja 2.5 y 10%. Encontraron que las muestras de espaguetis obtenidas con altos contenidos de maíz y de quinua, presentan los mayores valores de extensibilidad, valor importante en la calidad de este tipo de productos. Así mismo, ellos indican que no se presenta una diferencia significativa en la evaluación de la calidad sensorial. Dentro de esta misma

línea, Schoenlechner et al. (2010) estudiaron el uso del amaranto, la quinua y el trigo para la producción de pasta sin gluten, evaluando el uso de cada tipo de harina de forma individual y en forma combinada, encontrando que la pasta producida a partir de amaranto presenta una menor firmeza y menor tiempo de cocción, mientras que la pasta obtenida con harina de quinua mostró principalmente una mayor pérdida por cocción, y en las pastas de trigo se observaron los menores efectos negativos en relación a los parámetros de calidad en pastas. En relación a la combinación de las tres harinas, se encontró que la proporción de 60% de trigo, 20% amaranto y 20% quinua, permite obtener una mejor matriz de masa para la obtención de pastas con óptimas características de calidad.

Otros factores importantes a tener en cuenta, cuando se elaboran espaguetis, son las condiciones de proceso, relacionadas con la cantidad de humedad de la masa y la temperatura en el proceso de extrusión. En relación a este tema, Gimenez A. (2010) evaluó en su trabajo la elaboración de fideos con una mezcla de harina maíz y quinoa en una relación 80:20, evaluando la influencia de la temperatura de extrusión (80, 90 y 100 °C) y la humedad de alimentación (28, 31, 34%) sobre las características fisicoquímicas y sensoriales. Los resultados indican que el proceso de extrusión-cocción permite elaborar fideos con adecuadas características sensoriales (pegajosidad + firmeza), bajas pérdidas de sólidos durante la cocción y resistencia a la sobrecocción. Esta resistencia puede ser atribuida a la formación de nuevas estructuras durante la extrusión tales como complejo amilosa-lípido, amilopectina retrogradada y amilosa retrogradada. Las condiciones de extrusión más adecuada corresponden al menor nivel de humedad (28%) y mayor nivel de temperatura (100°C).

Resultados similares fueron reportados por Ramírez et al. (2003) en su trabajo, en el que estudiaron las propiedades funcionales de macarrones precocidos de harina de quinoa integral y el arroz pulido utilizando el proceso de extrusión-cocción, en el que se evaluó el efecto de tres niveles de sustitución de harina de quinoa (20, 40 y 60%), tres niveles de procesamiento de humedad (30, 35 y 40%), y tres condiciones de calentamiento en la zona del cilindro (cerca de la matriz, 50, 60 y 70 °C), dejando como parámetros constantes la velocidad de alimentación de 85 g/m y la rotación del tornillo de 80 rpm; los resultados indican que las mejores condiciones para la obtención de los macarrones sin gluten precocidos se realizan con un proceso de extrusión a

60 y 76 °C y una cantidad de harina de quinoa de 40% y harina de arroz 60%, con una humedad de 35%.

4.5 Enriquecimiento nutricional de bebidas con quinua

Hay una tendencia creciente del consumo de bebidas a base de vegetales, frutas y cereales debido a los aspectos de salud, como la intolerancia a la lactosa, alergias a la leche y las enfermedades gastrointestinales. Hoy en día hay muchas variedades de estas bebidas en el mercado como la leche de soja, bebidas vegetales a base de avena, arroz, coco y almendra, y la quinua no está fuera de esta tendencia, ya que tiene un alto potencial dentro de esta industria debido a su valor nutricional único.

Esto ha llevado a que la quinua sea empleada dentro de la industria de las bebidas, en la obtención de productos como cervezas, bebidas con mezcla de frutas y productos fermentados. Sin embargo, en estos procesos se suele emplear harina de quinua malteada, proceso que consiste en remojar los granos de quinua en agua en un relación 1:5, y germinar los granos para luego someterlos a un tratamiento térmico con el fin de finalizar los procesos metabólicos y desarrollar aromas y sabores (Mäkinen et al., 2013). Durante la etapa de germinación, los compuestos de almacenamiento de la semilla se movilizan por una variedad de enzimas sintetizadas y activadas, lo que resulta en una mejor digestibilidad de la proteína y biodisponibilidad de los minerales, así como un aumento en la actividad antioxidante y la formación de metabolitos secundarios con posibles bioactividades.

En el tema de las bebidas alcohólicas se ha empleado la harina de quinua malteada como un ingrediente en la elaboración de cerveza permitiendo obtener un producto con características sensoriales similares al producto obtenido con malta de cebada, empleando un 45% menos de tiempo de fermentación debido a que la quinua malteada ofrece mejores condiciones nutricionales para la levadura, influyendo en una reducción en los tiempos de fermentación, y a su vez también favorece el incremento del contenido de aminoácidos libres (Hendges, 2014). Otro estudio evaluó el efecto de la sustitución de la cebada por quinua en la obtención de una cerveza tipo Ale, encontrando que la sustitución del 25% de la cebada por quinua, permite un producto con un

mayor nivel de alcohol (4,55%), mejor capacidad espumante y una mayor aceptabilidad sensorial (Erasmus, 2015).

Actualmente, se evidencia en el consumidor una tendencia en la búsqueda de propuestas de néctares y jugos más naturales y saludables, es decir, que tengan un mayor aporte nutricional como las adiciones de vitaminas, calcio, fibra, proteína, probióticos, lo cual ha llevado a que la industria desarrolle tecnologías e investigaciones en la formulación de productos con ingredientes cada vez más naturales, saludables y prácticos. Dentro de estos productos se tiene la incorporación de quinua como fuente de proteína en bebidas de frutas con y sin adición de leche. Colcha (2013) evaluó en su estudio la alternativa de obtener una bebida nutritiva a base de malteado de quinua, leche y zanahoria deshidratada, obteniendo como resultado que la formulación con 87% de leche pasteurizada y 7% de harina de quinua malteada, obtuvo la mayor aceptabilidad (60%) por presentar excelentes características sensoriales y físicas, así como un mayor contenido de proteína (3,39%).

Así mismo, Sarmiento & Salgado (2015) evaluaron el efecto del malteado del grano de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) en la elaboración y estabilidad de una bebida a base de mango y quinua, encontrando que un reemplazo del 48% de fruta por quinua permite obtener una bebida con unas características sensoriales óptimas con un mayor aporte nutricional en relación al contenido de proteína (Figura 2). Estos estudios permiten evidenciar el potencial de emplear la harina de quinua malteada para la elaboración de bebidas con frutas o vegetales con mayor valor nutricional.



Figura 2. Bebida de mango y quinua

Otro estudio muestra que el desarrollo de una bebida para la dieta de preescolares a partir de la mezcla de los extractos líquidos de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) y de dos plantas leguminosas: algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stunz) y lupino (*Lupinus albus* L.) en un relación de 21:15:40 respectivamente, con un 20% frambuesa, tiene un contenido de proteínas del 1,36%, siendo capaz de suplementar entre un 6 y 7% del total de las proteínas que requieren los preescolares de 2 a 5 años en su dieta diaria. Un análisis del perfil aminoacídico de la formulación, corroboró que la cantidad de aminoácidos esenciales aportados suplementa el 3% del requerimiento diario establecido por el patrón de la FAO, excepto el triptófano (Mezquita et al, 2012).

Otra alternativa en la industria de bebidas es incorporar quinoa en la elaboración de productos fermentados para incrementar el valor nutricional de este tipo de productos. Arenas et al. (2012) en su estudio, indicaron que la adición de quinoa a la leche mejora el crecimiento bacteriano, generando la producción de ácido láctico en un menor tiempo, debido al aporte de aminoácidos de la harina de quinoa. Así mismo, proporciona mayor cantidad de proteína en el producto final (30% más que el yogur sin adición de quinoa).

También se pueden obtener estas bebidas fermentadas pero a partir de los extractos de vegetales. Maldonado (2014) en su estudio presenta una alternativa de obtención de una bebida fermentada a base de quinoa, en la que emplean extracto de quinoa malteada, sacarosa, cultivo acidófilo YO-FAST 88, goma xanthan y pulpa de maracuyá, obteniéndose un producto con un alto nivel de aceptación por parte de los consumidores y un buen valor nutricional con un aporte de 100 calorías en una porción de 200 g y una vida útil estimada de 70 días a 4 °C, indicando que este proceso es una alternativa frente al yogurt de leche de vaca y a la bebida fermentada de soya. Otro estudio evalúa la alternativa de desarrollar una bebida potencialmente simbiótico fermentada con *Lactobacillus casei* LC-1 a base de extractos acuosos de soya y quinoa con fructooligosacáridos (FOS añadidos), encontrando que la bebida formulada con una proporción de quinoa menor al 30% es la que mejor aceptación sensorial presentó y mantuvo mejor la calidad del producto (Bianchi et al., 2015).

Por otro lado, Bianchi et al. (2015) evaluaron los efectos de esta bebida en la microbiota del intestino humano empleando un simulador SHIME®, encontrando que la bebida tiene un efecto benéfico sobre la microbiota intestinal,

principalmente en el colon ascendente. Se presentó un aumento en las poblaciones de *Lactobacillus spp.* y *Bifidobacterium spp.* reduciendo los géneros perjudiciales tales como *Bacteroides* y *Clostridium spp.*, por lo tanto, esta bebida simbiótica es un buena matriz para el suministro de probióticos a nivel intestinal, ya que ayuda a la microbiota nativa y permite mejorar la salud humana.

4.6 Quinua en la elaboración de snack

Las tendencias actuales de los consumidores por la comida sana, fácil de preparar y consumir, así como de llevar, han incentivado la búsqueda de productos de consumo inmediato como los *snacks*. *Snacks* es una palabra inglesa que se puede traducir por bocadito o comida rápida. Son alimentos en porciones pequeñas, individuales, de fácil consumo, fácil manipulación, que no requieren preparación previa al consumo y que están destinados a satisfacer el hambre entre las comidas formales. El consumo de estos productos puede realizarse a cualquier hora del día y pueden llegar a ser una alternativa de alimentación saludable.

Las barras de cereal son alimentos convenientes que están compuestos de cereales secos (Dry Mix) listos para el consumo RTE (Ready To Eat) unidos por una mezcla ligante (Binder) que pueden ser consumidos como suplemento alimentario (Calisto, 2009). Según Fernández et al. (2011), las barras nutricionales son productos especialmente diseñados para contribuir a optimizar el rendimiento físico y proporcionar energía. Las barras de cereales han sido introducidas en el mercado como alimentos “saludables” en la confitería alternativa. Buscando ratificar las propiedades nutricionales de la quinua y de productos derivados. Vasques et al. (2012) elaboraron barras con hojuelas de quinua y hojuelas de arroz con el objetivo de investigar los efectos de este pseudocereal en el perfil bioquímico, antropométrico y la presión arterial en personas entre 18 y 45 años. Los resultados muestran que la quinua tiene efectos benéficos sobre la población estudiada, los niveles de colesterol total, triglicéridos, y LDL-c mostraron reducción. Concluyeron que el uso de la quinua en la dieta puede ser benéfico en la prevención y tratamiento de factores de riesgo relacionados con las enfermedades cardiovasculares. Los autores además concluyen que las barras de quinua ayudan a disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares.

El desarrollo de formulaciones de barras de cereales han sido investigadas por autores como Delgado y Barraza (2014), quienes elaboraron barras a base de quinua, sacha inchi y amaranto con una inclusión máxima del 24,9% de quinua en la formulación, el producto fue analizado sensorialmente y fisicoquímicamente. La aceptación general de la barra con el mayor contenido de quinua presentó la puntuación más baja, en tanto que la formulación que contenía 21,8% fue la formulación con mayor aceptación por parte de los panelistas. Con relación al análisis proximal se reporta que la barras tienen un contenido de proteína entre 2,67-2,25 g/g ms.

Calisto (2009) formuló barras de quinua con porotos rojos y miel de abejas, las cuales fueron analizadas mediante un análisis sensorial y proximal encontrando que el atributo con menor puntuación es la textura debido a las características reológicas de las materias primas; el olor presentó la mayor puntuación.



Figura 3. Barras de cereales andinos (quinua, chía y amaranto)

Da Silva et al. (2011) reportaron en su estudio la preparación de una barra de cereal que contiene diferentes granos de quinua a tres concentraciones diferentes con incorporación también de harina de quinua, encontrando que es un producto con una buena aceptación a nivel sensorial y demuestra que la barra de cereales de quinua se puede considerar una buena selección de productos para el mercado de alimentos.

4.7 Quinua en la elaboración de hojuelas y cereales de desayuno

Siguiendo la tendencia de los productos listos para consumir a cualquier hora del día y además que sean saludables, fueron investigadas técnicas para la elaboración de hojuelas de quinua. Las hojuelas de quinua pueden ser consumidas de inmediato o empleadas en preparaciones como ensaladas, coladas, sopas, bebidas, como apañador de carnes y panadería. Las hojuelas de quinua tienen un contenido de proteína del 8,5%, fibra 3,8% y de minerales como el calcio 114 mg, fósforo 60 mg y hierro 4,7 mg.

El proceso de hojuelado inicia con una selección de la materia prima que llevará a obtener productos con alta calidad, el producto se debe clasificar en cuanto a tamaño y contenido de humedad. El laminado se realiza por medio de rodillos mecánicos con resistencias eléctricas, el espacio entre los rodillos debe garantizar que se rompa la cascarilla de la semilla (0,15 mm), logrando romper las paredes celulares sin deteriorar la calidad. El tamaño de hojuela óptima esta entre 0,30 y 0,38 mm. Las hojuelas deben ser cocidas para romper por vía térmica las paredes de las células que no fueron fracturadas en el proceso anterior. Este proceso se realiza en recipientes en forma de tambor a una temperatura de 80 a 105 °C de 15 a 20 minutos. Las hojuelas posteriormente son prensadas, etapa en la cual se remueve el aceite de la semilla. Es importante en este proceso controlar la humedad del grano que no debe ser superior al 16%, ya que se pueden adherir a los rodillos y formar una masa, si la humedad es menor lo que se obtendrá será harina (González, 2004; Rojas et al., 2010). Finalmente, el proceso finaliza con el tostado de las hojuelas. En la Figura 3 se muestra el diagrama de proceso para obtención de las hojuelas. De acuerdo a lo reportado por Bergesse et al. (2015), la diferencia nutricional entre las hojuelas de quinua y las hojuelas de maíz es su contenido de aminoácidos, en el producto derivado de quinua se encuentran todos los aminoácidos esenciales, además el producto presenta un mayor contenido de cenizas.

En relación a los cereales de desayuno, la NTC 3749 los define como productos de textura frágil o crujiente, de figuras o formas variables, obtenidos a partir de cereales y sus derivados, sometidos a uno o más de los siguientes procesos: cocción, extrusión, secado, laminado, horneado, recubiertos o no, con adición

de vitaminas y minerales y otros ingredientes. Un parámetro importante en estos productos es el tamaño del gránulo de almidón, estos dan información sobre la estructura, el tiempo y la temperatura de gelatinización. Con esta información se pueden determinar variables de proceso como el tiempo, el tipo de mezcla, la cantidad de agua, los porcentajes de mezcla, e incluso el proceso tecnológico que se empleará en su transformación (Rojas et al., 2010). Los cereales listos para el desayuno pueden ser obtenidos por métodos de expansión y de extrusión.

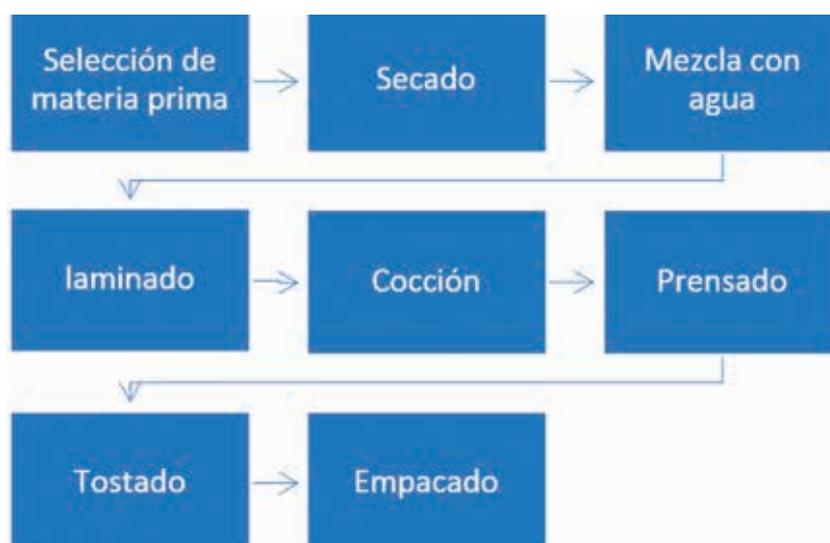


Figura 4. Diagrama de flujo para la elaboración de hojuelas de quinua

Los productos expandidos presentan un alto contenido de almidón dextrinizado y bajo contenido de almidón. El principio de la expansión es una vaporización explosiva del agua interna del grano, con una disminución repentina de la presión, provocando la hinchazón de los granos, evidenciado por el aumento del tamaño de los mismos. Este proceso mejora la disponibilidad de los nutrientes, favorece la gelatinización del almidón y destruye inhibidores termolábiles (Rojas et al., 2010), reportándose valores de 12,69% de proteína, 4,68% de grasa total, 74,12% de almidón, 4,8% fibra, 5,31% de humedad y 2,23% de cenizas (Salazar, 2008).

El proceso de extrusión ofrece grandes ventajas nutricionales, económicas y productivas. Una de las ventajas es que no es necesario emplear materias grasas durante el proceso, además el proceso es rápido. Los extruidos de quinua se obtienen mediante un proceso de cocción a alta temperatura y corto tiempo utilizado como medio para reestructurar el material alimenticio que contiene almidón y proteínas, y de esta forma obtener alimentos texturizados (Bonifacio, 2006). En este proceso es importante controlar la temperatura, ya que esta puede degradar algunos componentes de la materia prima, pero el proceso puede homogenizar, texturizar, activar enzimas, pasteurizar y esterilizar microorganismos, expandir, inflar o deshidratar. La extrusión por el sistema Alta Temperatura y Tiempo Corto (HTST) mantiene la calidad nutricional de los granos andinos, ya que en este proceso no se presenta el pardeamiento no enzimático. Durante la extrusión la temperatura de cocción puede alcanzar entre 120 y 150 °C, pero el tiempo de residencia es usualmente de solo 10-15 segundos (Rojas et al., 2010).



Figura 5. Quinua pop

Carrasco et al., (2011) evaluaron formulaciones para obtener un cereal dulce de quinua y maíz mediante el proceso de cocción/extrusión realizado a 160 °C, la mezcla que presentó un mayor índice de expansión (2,49) presenta una proporción quinua: maíz de 70:30.

4.8 Quinoa en la industria de la confitería

La confitería en el ámbito mundial es una de las industrias más grandes, abarca productos como chocolatería, bollería, pastelería y dulces a base de azúcar, razón por la cual es necesario una vigilancia continua de las tendencias de los consumidores los cuales buscan alimentos saludables.

El chocolate por su alto contenido de polifenoles como la epicatequina, catequina, antocianinas y flavonoides, en la actualidad es estudiado mediante formulaciones que permitan complementar aspectos nutricionales y poder ofrecer a los consumidores alternativas nutritivas de un snack. Autores como Schumacher et al. (2010) evaluaron la adición de 12, 16 y 20% de quinoa al chocolate oscuro en los aspectos sensoriales y fisicoquímicos, encontrando que la formulación con mayor porcentaje de inclusión de quinoa arrojó el mayor contenido de proteína (4,8 g/100g) y de fibra (0,29 g/100g).

La elaboración de mermeladas empleando en su formulación quinoa fue revisada por Iza (2013), quien evaluó la adición de tres porcentajes de quinoa 10, 20 y 30%. Encontró que la quinoa influye en el color, viscosidad, pH, Aw y proteína del producto final. El contenido de proteína en la mermelada cuando se adicionó 30% de quinoa, presentó 87% más de proteína que el tratamiento sin quinoa. El aumento del contenido de quinoa afectó la aceptación del producto final por parte de los panelistas.

4.9 Quinoa como extensor en la industria cárnica

Las carnes son apreciadas como alimento en muchas culturas, ya sea por su sabor, su capacidad de producir saciedad o su alto valor nutritivo. El costo de la carne es alto y en la industria de alimentos representa una proporción considerable del valor total en la elaboración de productos cárnicos, elevando el precio promedio de las materias primas hasta el 70% del total; razón por la cual, en la industria suelen utilizarse extensores que reemplacen la proteína cárnica con materias primas de fácil consecución, generalmente de origen vegetal, ricas en proteína y caracterizadas por poseer propiedades funcionales tales como: capacidad de retención de agua, emulsificación de grasas y formación de geles (Andújar et al., 2000).

De acuerdo con la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá (2002), los embutidos son productos procesados crudos o cocidos, ahumados o no, introducidos a presión en tripas; aunque en el momento de expendio o consumo carezca de la envoltura empleada. Para su elaboración se emplean dos grupos de compuestos: ingredientes y aditivos. Los ingredientes son por una parte las materias primas (carnes, sangre, vísceras, féculas, harinas, hidratos de carbono o productos tales como cebolla y arroz, migas de pan, papa, entre otros) y por otra, los condimentos y especias, propios del embutido a preparar. Los aditivos son sustancias (colorantes, reguladores de pH, antioxidantes, conservantes, reguladores de maduración, correctores y potenciadores de sabor) que se añaden con el objeto de modificar las características del producto (Jiménez & Carballo, 2006) y, generalmente, no constituyen la fuerza iónica ni modifican el pH del medio pero si intensifican los fenómenos de ligazón, incrementan la fuerza y mejoran el aspecto del producto final.

Dentro de los extensores cárnicos más utilizados destacan los productos derivados de cereales, la proteína de soya y las migajas de pan o *rusks* (masa horneada sin levadura, seca y molida). Es de aclarar que su uso, no sustituye la proteína de la carne, ni los nutrientes asociados a esta (Güemes, 2007).

Utilizada como extensor, la quinua aporta cantidades de proteína superiores a la suministrada por la harina de trigo, lo cual está dado por la presencia de un balance de aminoácidos esenciales notoriamente superior. Igualmente, la textura de los productos elaborados con harina de quinua es significativamente mayor; no se detectan diferencias sustanciales en el aspecto y el sabor, lo cual depende del grado de remoción de las saponinas (Andújar et al., 2000).

4.10 Conclusiones

La quinua puede ser empleada dentro de la industria alimentos como materia prima principal permitiendo que se obtengan productos con un alto valor nutricional, principalmente, relacionado con su nivel de proteína, por lo cual se puede emplear en la línea de panificación, confitería, bebidas fermentadas, bebidas en polvo, snacks, cereales de desayuno y barras de cereal. También la quinua puede ser empleada como un aditivo, que permite mejorar las características

tecnológicas para poder mejorar la calidad de productos como los obtenidos a partir de productos cárnicos, al ser empleado como un extensor cárnico.

Referencias

- Andújar, G.; Guerra, M. y Santos, R. (2000). La utilización de extensores cárnicos. Experiencias de la industria cárnica cubana. La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.
- Arenas, C., Zapata, R., Gutierrez, C. (2012). Evaluación de la fermentación láctica de leche con adición de quinua (*Chenopodium quinoa*). *Vitae*. 19(1): pp. S276 – S278.
- Astaíza, M., Ruíz, L., & Elizalde, A. (2010). Elaboración de pastas alimenticias enriquecidas a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa wild.*) y zanahoria (*Daucus carota*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*; pp. 43-53.
- Bergesse, A., Boiocchi, P., Calandri, E., Cervilla, N., Gianna, V., Guzmán, C., Miranda, P., Montoya, P. Mufari, J., (2015). Aprovechamiento integral del grano de quinua. Aspectos Tecnológicos, Fisicoquímicos, Nutricionales y Sensoriales.
- Bianchi, F., Rossi, EA., Gomes, R.G., Sivieri, K. (2015). Potentially synbiotic fermented beverage with aqueous extracts of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) and soy. *Food Science and Technology International*. 21(6): pp. 403- 415
- Bick, M. (2013). Biscoitos com diferentes concentrações de farinha de quinua em substituição parcial à farinha de trigo. *Brazilian Journal of Food Technology*. pp. 121-129.
- Bhargava, A., & Srivastava, S. (2013). Quinoa: Botany, Production and Uses. CABI. 264 pág. DOI: 10.1079/9781780642260.0000.
- Bonifacio, A. (2006). Estudio de prospectiva para los productos del altiplano. Organización De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo Industrial. Subdivisión de Promoción de Inversión y Tecnología.
- Bosque, H., Alaña, N., Kalam, A., Valenzuela, E., & Garcia, E. (2013). Adaptaciones morfológicas y fisiológicas de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), factores abióticos adversos. En: *La quinua y la UMSA: Avances de investigaciones científicas en celebración del año internacional de la quinua*, pp. 125-135.

- Caicedo, D., Torres, K. (2015). Efecto de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd var. Piartal) sobre las propiedades de volumen, textura y estabilidad en panes. Tesis para optar el título de Ingeniero de Alimentos. Uniagraria.
- Calisto Guzmán, L. (2009). Desarrollo de producto snack a base de materias primas no convencionales : poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Disponible en <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/105325>.
- Carrasco, R.R., Pilco, J., Encina, C. (2011). Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays L.*), Ingeniería Industrial, 29, pp. 207-222.
- Colcha, M. (2013). Elaboración y control de calidad de una bebida nutritiva a base de malteado de quinua, leche y zanahoria deshidratada. (Tesis de grado para la obtención del título de bioquímico farmacéutico). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- Da Silva, F. D., Pante, C. F., Prudencio, S. H., & Ribeiro, A. B. (2011). Establishment of a cereal bar with quinoa and its sensorial and nutritional properties. Alimentos e Nutricao (Brazilian Journal of Food and Nutrition), 22(1), pp. 63-70.
- Elgeti, D., Nordlohne, S. D., Föste, M., Besl, M., Linden, M. H., Heinz, V., & Becker, T. (2014). Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. Journal of Cereal Science, 59(1), pp. 41-47.
- Erasmó, W. (2015). Efecto de la sustitución de cebada (*Hordeum vulgare*) por quinua (*Chenopodium quinoa*) y del ph inicial de maceración en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de una cerveza tipo Ale. (Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero en Industrias Alimentarias). Universidad Privada.
- Delgado, L., Barraza, G. (2014). Efecto de la proporción de *Chenopodium quinoa* (quinua), *Amaranthus caudatus* (kiwicha) y *Plukenetia volubilis* l. (sacha inchi) en la aceptabilidad general y el análisis proximal de una barra energética. Cientifi-k. 2(2), pp. 56-70.
- Fernández Solís TN, Fariño Rosero MV. (2011). Elaboración de una barra alimenticia rica en macronutrientes para reemplazar la comida chatarra. Tesis Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Guayaquil.
- FAO. (2015). La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Disponible on line: http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es /cultivo_quinoa_es.pdf

- Furchea, C., Salcedo, S., Krivonos, E., Rabczuk, P., Jara, B., Fernández, D., Correa, F. (2014). Comercio Internacional de Quinoa. Capitulo Numero 4.1. IN: BAZILE D. et al. (Editores), "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 376-393.
- García, D. (2011). Desarrollo de un producto de panadería con harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). (Tesis especialización). Universidad Nacional de Colombia.
- Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Świeca, M., Sęczyk, L., Różyło, R., & Szymanowska, U. (2015). Bread enriched with *Chenopodium quinoa* leaves powder–The procedures for assessing the fortification efficiency. *LWT-Food Science and Technology*, 62(2), pp. 1226-1234.
- Gimenez, A. (2010). Efecto de la temperatura y humedad de extrusión sobre la calidad de fideos de maíz – quinua. World Congress & Exhibition Engineering. Argentina. pp. 1-9.
- González M. (2004). Produccion y comercializacion em Bogotá de hojuelas de quinua empackadas. Disponible en <http://www.repository.javeriana.edu.co/bitstream/105547089/1/tesis169.pdf>.
- Güemes, N. (2007). Utilización de los derivados de cereales y leguminosas en la elaboración de productos cárnicos. *Nacameh*, 1 (2): pp. 110-117.
- Güemes, N. (2007). Utilización de los derivados de cereales y leguminosas en la elaboración de productos cárnicos. *Nacameh*, 1 (2): pp. 110-117.
- Hendges Diogo (2014). Producao de cervejas com teor reduzido de etanol, contendo quinua malteada como adjunto. (Tesis de grado para la obtención del título de doctorado en Ciencias do Programa de Pos-graduacao em Biotecnologia industrial na área de Microbiología aplicada). Universidad de Sao Paulo. Brazil.
- ICONTEC. (1997). NTC 3749 Industrias alimentarias. Productos de molinería. Cereales listos para el desayuno.
- Iza, E. (2013). Desarrollo de una mermelada de mango Haden con quinua (*Chenopodium quinoa*). Tesis para optar por el título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria.
- Jiménez, F. y Carballo, J. (2006). Principios Básicos de Elaboración de Embutidos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Hojas Divulgadoras, 4/89.
- Machado Alencar, N. M., Steel, C. J., Alvim, I. D., de Moraes, E. C., & Andre Bolini, H. M. (2015). Addition of quinua and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal

- profile and instrumental analysis. *LWT-Food Science and Technology*, 62(2), pp. 1011-1018.
- Mäkinen, O, Zannini, E, Arendt, E. (2013). Germination of Oat and Quinoa and Evaluation of the Malts as Gluten Free Baking Ingredients. *Plant Foods for Human Nutrition* 68(1): pp. 90–95.
- Maldonado, R. (2014). Desarrollo de Una Bebida Fermentada a Base de Quinoa (*Chenopodium quinoa*). (Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero de Alimentos). Universidad de San Francisco de Quito. Ecuador.
- Mastromatteo, M., Chillo, S., Iannetti, M., Civica, V., & Del Nobile, M. A. (2011). Formulation optimisation of gluten-free functional spaghetti based on quinoa, maize and soy flours. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(6), pp. 1201-1208.
- Mezquita, P., Acosta, E., Rojas, G., Romero, N., Arcos, R. (2012). Desarrollo de una bebida de alto contenido proteico a partir de algarrobo, lupino y quinoa para la dieta de preescolares. *Nutrición Hospitalaria*. 27(1), pp. 232-243
- Montoya, L., Martínez L., Peralta, J. (2005). Análisis de variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de quinua en Colombia. *Revista Innovar Journal Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 15(25), pp. 103-119.
- Ramírez Ascheri, J. L., Da Silva Borges, J. T., Do Nascimento, R. E., & Ramírez Ascheri, D. P. (2003). Propiedades funcionales de fideos precocidos a base de harina integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) y harina de arroz (*Olyza sativa*, L.). *Alimentaria*, (342), pp. 71-75.
- Rojas, W., Soto, J., Pinto, M., Padulosi, S. (2010). Granos andinos. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. *Bioersity International*, Roma, Italia.
- Sarmiento, E. & Salgado, N. (2015). Efecto del malteado del grano de quinua (*Chenopodium Quinoa* Willd) en la elaboración y estabilidad de una bebida a base de mango y quinua. (Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero de Alimentos). Fundación Universitaria Agraria de Colombia – Uniagraria. Colombia.
- Salazar, D. (2008). Desarrollo de un cereal para el desayuno en base a quinua expandida, como alternativa para una alimentación sana y nutritiva. Tesis para obtener el grado de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Estatal de Bolívar. Ecuador.

- Schoenlechner, R., Drausinger, J., Ottenschlaeger, V., Jurackova, K., & Berghofer, E. (2010). Functional properties of gluten-free pasta produced from amaranth, quinoa and buckwheat. *Plant foods for human nutrition*, 65(4), pp. 339-349.
- Schumacher, A., Brandelli, A., Macedo, F., Pieta, L. (2010). Chemical and sensory evaluation of dark chocolate with addition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Science Technology*, 47 (2), pp. 202-206.
- Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. (2002). Productos cárnicos procesados. Dirección de Salud Pública. Bogotá, Colombia. Disponible on line: <http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Protocolos%20de%20Vigilancia%20en%20Salud%20Publica/Productos%20Carnicos.pdf>.
- Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2016). Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 69, pp. 174-181.
- Vasques, F., Barbalho, S., Oshiiwa, M., Goulart, R., Pessan, O. (2012). El uso de barras de cereal con quinoa (*chenopodium quinoa w.*) para reducir los factores de riesgo relacionados con las enfermedades cardiovasculares. *Food Science and Technology*, 32 (2), pp. 239-244.
- Velásquez, L., Aredo, V., Caipo, Y., & Paredes, E. (2014). Optimización por diseño de mezclas de la aceptabilidad de una galleta enriquecida con quinua (*Chenopodium quinoa*), soya (*Glycine max*) y cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agroindustrial Science*, 4(1), pp. 35-42.

5. Usos potenciales del mango (*Mangifera indica* L) en la industria

*Diana Cristina Moncayo
Sandra Patricia Cote Daza
Mary Luz Olivares Tenorio*

5.1 Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales más importantes en el ámbito mundial, tiene un alto contenido de vitamina A y fibra. En Colombia el área cultivada es de aproximadamente 22.745 ha y tuvo una producción promedia de 263.515 t en el 2013 (Agronet, 2016). Entre los residuos generados en la transformación de esta fruta se encuentran la piel o corteza y la semilla, que ascienden al 21% del peso total del fruto (Carreño et al., 2011). En este capítulo se presentan algunas de las alternativas de procesamiento de este fruto (incluyendo residuos) que permitan mejorar la disponibilidad de mango durante todo el año, además de ofrecer alternativas que fortalezcan la comercialización del mismo y la generación de valor a partir de los residuos generados en su transformación. El capítulo se divide en dos secciones: elaboración de productos a partir de la pulpa de mango y a partir de las cáscaras y semillas.

5.2 Elaboración de productos a partir de la pulpa de mango

1. Mango mínimamente procesado

Con el fin de ofrecer al consumidor productos listos para el consumo en fresco, se han desarrollado diversas técnicas para prolongar la vida útil del producto, conservar la frescura y las características sensoriales, así como opciones que permitan a los consumidores la adquisición de productos saludables que incentiven el consumo de frutas. Dentro de esta tendencia, se encuentra alternativas de procesamiento en las cuales los mangos son lavados y desinfectados en una solución acuosa de hipoclorito de sodio (300 mL / L), luego pelados y cortados para obtener rebanadas de 5 mm de espesor. Posteriormente, los trozos son tratados con 2% ácido málico, alginato y luz pulsada 20 impulsos a fluencia de $0,4 \text{ J cm}^2/\text{pulso}$, y almacenados a $4 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 14 días (Salinas et al., 2016). Los autores de este trabajo identificaron que los tratamientos aplicados son efectivos frente a la disminución de la población microbiana, logrando alcanzar una vida útil de 14 días. Durante el almacenamiento el producto con mejores características, en cuanto firmeza, fueron los recubiertos con alginato. La combinación de estos tratamientos garantiza que el mango mínimamente procesado cuente con características de calidad que permiten su consumo por un tiempo prolongado después de ser procesado, siendo una alternativa muy atractiva para la industria y los consumidores en general.

2. Recubrimiento comestible de mango mínimamente procesado

Las atmósferas modificadas son una alternativa de procesamiento de los alimentos, es así como los recubrimientos generan una alternativa para garantizar este tipo de atmósfera con beneficios como disminución de la tasa de respiración de los frutos, mantenimiento de características organolépticas como la textura y firmeza, color y disminución de la pérdida de peso.

Para la aplicación de recubrimientos comestibles los frutos deben ser lavados y desinfectados con hipoclorito de sodio a 100 ppm, posteriormente pelados

y troceados en cubos de 1 cm. Seguido a esto, se debe realizar una inmersión en cloruro de calcio al 0,5% y ácido cítrico al 1,0% y, posteriormente, tratados con una solución de quitosano. Por ejemplo crea una capa protectora que mejora las características sensoriales como color, apariencia, textura y puede ayudar a controlar la carga microbiana del producto durante el almacenamiento. Para la elaboración del recubrimiento comestible que se emplea en mango, se utilizó quitosano a una concentración del 2% y aceites esenciales de naranja (1%) y limón (1%), dejando en agitación a 800 rpm durante 3 horas y desgasificando a 25 °C. Posterior a ello el mango fue inmerso en el recubrimiento por 10 min, seguido de un secado por 1 h, para finalmente ser almacenarlos a 4 °C (Rico, Gutiérrez, & Díaz, 2012). Estudios como el anterior evidencian que los recubrimientos comestibles logran prolongar la vida útil de los productos y controlar el crecimiento de microorganismos que alternan la calidad e inocuidad de los productos. Para el estudio en mención, se encontró que después de 12 días de almacenamiento ocurre una reducción significativa ($p \leq 0,05$) en la presencia de microorganismos como coliformes, psicrófilos, hongos y levaduras.

3. Elaboración de pulpa o puré de mango

Las pulpas de frutas son uno de los productos elaborados a base de frutas que pueden ser fácilmente transformados, durante su procesamiento no se requiere de equipos sofisticados, ni tampoco de la adición de aditivos. La NTC 5468 define el puré de fruta como un producto obtenido de realizar operaciones de tamizado, triturado o desmenuzado de la parte comestible de las frutas, ya sean enteras o peladas sin eliminar el jugo. La elaboración de pulpa presenta amplias ventajas para la industria y los consumidores, ya que permite disponer de materia prima en cualquier época del año, disminuyendo el espacio de almacenamiento, facilitando el transporte y reduciendo los costos de la logística requerida, adicionalmente es posible la elaboración de una amplia gama de productos a partir de esta materia prima.

De acuerdo con los resultados obtenidos por Zambrano et al. (2008), una opción para la conservación de este producto es el escaldado de frutos a vapor durante 6 minutos, posteriormente, se extrae la pulpa y se adiciona ácido cítrico al 0,3% y benzoato de sodio al 0,1%. Luego de esto se empa

en bolsas de polietileno (150 g/bolsa), se sella al vacío y se almacenan por un periodo máximo de 120 días a temperatura de refrigeración, lo cual permite conservar la pulpa de mango con las características químicas y una calidad sensorial aceptable.

Tratamientos como el anterior disminuyen el contenido de algunos nutrientes, por lo anterior nuevas tecnologías como el procesamiento de alta presión, (HPP) utilizando presiones de 100 a 600 MPa durante 1 s a 20 min a temperatura ambiente ($30 \pm 2^\circ \text{C}$), permiten mantener el color de la pulpa y retener el contenido de ácido ascórbico entre el 85 y 90% respectivamente. Adicionalmente, microorganismos como coliformes, mesófilos aerobios, bacterias ácido lácticas, psicrotrofos y en menor proporción los mohos y levaduras, son sensibles al tratamiento, lo que garantiza la disminución de la carga bacteriana. Kaushik et al. (2014) estudió las condiciones de procesamiento del mango con esta tecnología encontrando que las condiciones ideales para el procesamiento son 600 MPa durante 5 min.

4. Jugo y néctar de mango

Las enzimas endógenas presentes en el mango que no se inactivan pueden producir mal sabor y acortar la vida útil de los productos almacenados a temperatura ambiente, por tanto, es necesario la aplicación de tecnologías que permitan mantener las características tanto microbiológicas como sensoriales durante el almacenamiento. Tradicionalmente, para la elaboración de néctares las frutas son inicialmente escaldadas, técnica que permite la inactivación de algunas enzimas como la peroxidasa. En la elaboración del néctar de fruta los tratamientos térmicos son altamente utilizados, pero con la desventaja de la pérdida de compuestos nutricionales como vitaminas, las cuales en su mayoría son termolábiles. Por las razones expuestas anteriormente, los investigadores buscan nuevas técnicas de procesamiento que permitan la conservación de los alimentos sin disminuir significativamente el poder nutricional que los caracteriza.

En el estudio realizado por Liu et al. en 2014, los frutos de mango fueron lavados y desinfectados, seguidamente se retiraron las semillas y se cortaron en trozos de 3 mm de espesor, posteriormente fueron escaldadas con vapor (100°C) durante 1,0 min. A continuación, se obtuvo la pulpa de mango. 200 mL

de la pulpa se diluyeron en 600 mL de agua, ajustando el producto a $8,20 \pm 0,10$ °Brix con sacarosa y a $3,95 \pm 0,01$ el pH mediante la adición de ácido cítrico y 0,10% eritorbato de sodio. Posterior a este acondicionamiento los néctares fueron tratados con dos condiciones de operación buscando establecer las condiciones óptimas para la obtención de este producto.

- a) Tratamiento 1. Las botellas de néctares fueron tratadas con Altas Presiones Hidrostáticas (HHP), realizando una presurización de 600 MPa / min del medio en el cual se encuentran, posteriormente se redujo rápidamente la temperatura.
- b) Tratamiento 2. Las botellas fueron calentadas a 110 °C por 8,6 s de acuerdo a los tiempos establecidos para la pasteurización a Altas Temperaturas y Bajos Tiempos (HTST), posterior a su aplicación no se detectaron levaduras y mohos, a su vez los recuentos de aerobios totales fueron menores a 2,00 log₁₀ufc / mL (Liu, Wang, Li, Bi, & Liao, 2014). Al finalizar el proceso, los productos fueron almacenados a 4 °C encontrando que la capacidad antioxidante, ácido L-ascórbico, eritorbato de sodio, fenoles totales, los carotenoides totales, y el color, no presentaron cambios significativos hasta la semana 15. Al comparar los dos tratamientos no se encontraron diferencias significativas excepto en la disminución del ácido L-ascórbico en el tratamiento a altas presiones hidrostáticas.

Entre las alternativas para el procesamiento de jugo de mango que permitan conservar su inocuidad durante el almacenamiento, se encuentra el uso de irradiación con rayos gama, técnica empleada para inactivar bacterias, mohos y levaduras que pueden desarrollarse durante el almacenamiento del producto. El uso de tres dosis de irradiaciones fueron evaluadas en mangos que luego fueron procesados para la obtención de jugo. Durante la evaluación del producto se encontró que los tratamientos no alteran el color de jugo y son efectivos para la descontaminación microbiológica, además ayudar a mantener la calidad del jugo (Naresh et al., 2015).

Casas et al. (2016a) desarrollaron una bebida a base de quinua y mango, evaluando el efecto del proceso de malteado de la quinua en la elaboración y estabilidad de una bebida a base de quinua y mango, encontraron que la

mejor formulación a nivel sensorial fue la que contenía 42,8% de quinua y 57,2% de mango.

En 2013, Kumar y Patil evaluaron el efecto que tenía el material de empaque en la conservación de una bebida en polvo a base de mango. La bebida en polvo fue preparada mediante la técnica de atomización de una mezcla de pulpa de mango, leche pasteurizada y azúcar. La mezcla fue tratada térmicamente entre 70-75 °C y homogenizada a 1000/500 psi. Posteriormente se realizó un enfriamiento a 20 °C. La temperatura objetivo en el proceso de atomización fue de 85 °C con una velocidad de 15000 rpm que permitía mantener el tamaño de la gota en 250 µm. En cuanto a la elección del material de empaque los autores refieren que empaques de poliéster metalizados y poliestireno permiten mantener el producto con características sensoriales y microbiológicas durante 8 meses.

5. Mango deshidratado osmóticamente

La deshidratación es una técnica de conservación de productos que garantiza la disponibilidad en época de poca producción. Entre las ventajas que tienen los productos a los cuales se les ha retirado el agua libre que contienen por medio de la deshidratación es la facilidad de transporte y la estabilidad durante el almacenamiento, estabilidad asociada con cambios fisicoquímicos, sensoriales y microbiológicos. La técnica más empleada en el ámbito mundial es la de secado por aire caliente, en la cual se emplea como principio del método la temperatura de ebullición del agua, esta opción de procesamiento tiene desventajas tecnológicas en cuanto a la pérdida de nutrientes y de atributos sensoriales, pero tiene la ventaja de ser económico y los equipos que emplea son de fácil adquisición.

Otra alternativa para la deshidratación del mango es el uso de una solución saturada de azúcar que permita la pérdida de agua mediante el mecanismo de osmosis, esta opción de deshidratación mejora el perfil sensorial del producto en cuanto a sabor, este método es una etapa previa al deshidratado convencional. Guiamba et al. (2016) evaluaron la deshidratación osmótica como un tratamiento previo para la deshidratación de mango "Tommy Atkins". La etapa experimental incluyó el uso de soluciones con concentraciones de 45 °Brix y la adición de ácido ascórbico con una solución de fruta en una relación 1:10 (p/p). La osmodeshidratación en este estudio se realizó a 25 °C por un

periodo de 15 horas, periodo en el que se analizó el contenido de vitamina C y β -caroteno. En este trabajo se presenta el método como una alternativa viable si se desea mantener el color de los frutos deshidratados y retener parcialmente la vitamina C.

6. Pasabocas frito

Por otra parte, se puede obtener pasabocas fritos por inmersión a partir de una pasta a base de mango (Villamizar & Giraldo, 2010), permitiendo la diversificación de los productos. Los autores describen el proceso de elaboración el cual inicia con las etapas de lavado, pelado y despulpado de los mangos que se encuentran en un estado óptimo de madurez. Posteriormente, se toma 230 gramos de pulpa de mango y se homogeniza en una licuadora por 1 minuto para obtener puré. Al puré se le adiciona 20% en peso de una mezcla de almidón y harina de trigo. La mezcla se traslada a moldes circulares de 2 mm de espesor y 4 cm de diámetro, los cuales son refrigerados durante 48 horas. La pasta extraída del molde se fríe en una olla freidora eléctrica automática (por cada kilogramo de pasta se utiliza 1,5 L de aceite) a 175 °C por 30 s, luego se retira el pasabocas y se extrae la grasa superficial con papel absorbente. El producto final presenta características físicas, químicas y sensoriales adecuadas que llevan a la aceptación del producto por parte de los consumidores.

7. Muffin con harina de mango

El mango es uno de los frutos que se ha estudiado como sustituto de harina de trigo en formulaciones de panadería, debido a su alto contenido de carbohidratos, fibra y azúcar que lo hacen un buen sustituto. Para la elaboración de harina de mango es necesario realizar un proceso de secado, ya sea al puré elaborado con la fruta o a los trozos que posteriormente son sometidos a temperaturas superiores a 60 °C que eliminen el exceso de agua. Finalmente, el producto obtenido debe ser molido y tamizado dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar.

El estudio realizado por Ramírez et al. (2015) evaluó el efecto de la incorporación del fruto en las características sensoriales y composición química del producto. Inicialmente, se elaboró un puré de mango el cual fue deshidratado

a 60 °C por 24 horas. La sustitución de la harina de trigo y azúcar se realizó en porcentajes del 50% y 75%. Para la elaboración se mezclaron las claras de los huevos con el azúcar por cinco minutos, adicionando las yemas y la leche lentamente, la mezcla se realizó por 2 minutos. Posteriormente, se adicionó la harina de trigo, el aceite, la leche, elementos que fueron mezclados por 10 minutos. La cocción del producto se realizó a una temperatura de 170 °C por 35 minutos. De acuerdo con el análisis sensorial, los muffin elaborados con una sustitución del 75% de harina de mango presentaron un mejor perfil sensorial, en tanto la sustitución del 50% no fue significativamente diferente del control. En la Tabla 1 se presenta la formulación con mayor aceptación sensorial.

Tabla 1. Formulación de muffin

Ingrediente	Porcentaje (%)
Harina de trigo	6,5
Azúcar de caña	6,5
Harina de mango	39
Aceite vegetal	10
Yema de huevo	7,5
Clara de huevo	15
Leche	12,5
Polvo de hornear	2
Sal	1

Fuente: Ramírez et al., 2015

5.3 Elaboración de productos a partir de las cáscaras y semillas, subproductos del procesamiento de mango

De acuerdo con el estudio realizado por O'Shea, Arendt y Gallagher en 2012, del 35 al 65% de las frutas es desechado después del uso de la pulpa de las frutas, generando una fuente de contaminación para algunos, y para otros una alternativa para la obtención de productos nutricionales y con gran valor agregado. Para el caso del mango se encuentran reportadas cifras que indican que el porcentaje de pulpa representa el 79%, la cáscara 10% y la semilla 11% del peso total de la fruta (Carreño et al., 2011).

Alrededor del mundo se encuentran alternativas que buscan el aprovechamiento del 100% del mango, en las que se evidencia que el total de la materia prima es un alternativa potencial para la obtención de productos con alto valor nutricional y funcional tanto a nivel de la salud como tecnológico. A continuación, se presentan opciones para el manejo integral de la fruta de mango.

1. Cáscara de mango en polvo

Los alimentos funcionales son día tras día la mejor alternativa para los consumidores en el ámbito mundial, teniendo en cuenta que además de aportar nutrientes se demuestra su beneficio o aporte a varias funciones del organismo mejorando el estado de salud. Se ha demostrado que los alimentos funcionales reducen los factores de riesgo de diversas enfermedades como las enfermedades coronarias y las asociadas con el bajo consumo de fibra.

Teniendo esta tendencia en el consumo, Serna-Cock, Torres, y Ayala (2015) desarrollaron un producto funcional elaborado a partir de cáscaras de mango. Los investigadores utilizaron mangos de la variedad criollo o de azúcar, realizaron un proceso de lavado con agua potable y una desinfección con agua clorada (100 ppm de hipoclorito de sodio) durante 10 min. La cáscara fue retirada manualmente y luego liofilizadas a presión de vacío de 133 x 10⁻³ mBar, hasta alcanzar contenidos de humedad cercanos a 5% (B.H) y actividad de agua (a_w) cercanos a 0,3. Las cáscaras secas se pulverizaron con un molino de cuchillas a 20.000 rpm, posteriormente el material molido se pasó a través de un tamiz de 250 μ m y otro de 180 μ m durante 5 min. El producto final se almacena en bolsas plásticas resellables a 5 °C. El polvo obtenido presentó adecuadas características de humectabilidad, solubilidad, contenido de antocianinas y ácido ascórbico, por tanto, este producto puede utilizarse como materia prima para el desarrollo de alimentos funcionales, por su alto contenido de antocianinas, carotenoides, licopeno y ácido ascórbico, características propias de la variedad de mango y que contrasta con los reportes de las variedades Tommy Atkins y Keitt (Serna-Cock, Torres, & Ayala, 2015).

Casas et al. (2016) evaluaron el uso de cáscaras de mango deshidratadas para la preparación de infusiones. Para determinar las características sensoriales las infusiones fueron preparadas por dos métodos: bolsa filtrante y tetera. Adicionalmente se evaluaron tres temperaturas y tiempos de secado (35 °C/20h,

50 °C/15h y 65 °C/10h), con el fin de determinar las mejores condiciones que garantizaran el mejor perfil sensorial. En cuanto a secado la mejor alternativa es el secado a 65 °C por un periodo de tiempo de 10 h, con lo cual se mantienen las características de calidad del producto, con un mejor color (amarillo y rojo característicos del mango fresco) y con mayor biodisponibilidad de los compuestos polifenoles con un alto nivel capacidad antioxidante, lo cual indica su potencial en la agroindustria. Los investigadores concluyen que las mejores condiciones para la obtención de las infusiones fueron tetera y secado 35 °C / 20 h, condiciones que ofrecen el mejor perfil sensorial (Figura 1).



Figura 1. Muestra de la bebida obtenida de cáscaras de mango

Otros estudios presentan el uso potencial de las cáscaras de mango en polvo como fuente de antioxidantes y de fibra dietaria en la formulación de pastas. El estudio realizado por Ajila et al. (2010) presenta la inclusión de cáscara de mango deshidratada y molida en la formulación de pasta en tres porcentajes 2,5; 5,0;7,7%. Determinando que la formulación que contenía el 5% de cáscara de fruta, presentó la mayor aceptación sensorial, estas formulaciones adicionalmente podrían en una dieta balanceada aportar cantidades importantes para ser consideradas como productos funcionales y nutricionales.

2. Obtención y aplicación de grasa obtenida de la semilla de mango

En la revisión realizada por Torres León et al. (2016) se presentan las alternativas de procesamiento para las semillas de mango, considerando que estas pueden ser usadas como materias primas o aditivos para la industria a bajo

costo. Adicionalmente, las semillas se utilizan como alternativas para ayudar a reducir enfermedades y deficiencias nutricionales por la composición de esta parte del fruto, principalmente por sus componentes antioxidantes y propiedades anticancerígenas. Los investigadores reportan el uso de semillas en polvo en Nigeria en la dieta de niños y adultos por su aporte en antioxidantes, proteína, y grasa al ser incorporadas en los alimentos de la dieta. Como alternativas para el uso de las semillas, investigadores como Jahurul et al. (2014) evaluaron la posible sustitución de la manteca de cacao por la grasa de las semillas de mango. La extracción de la grasa se realizó con el uso de fluidos supercríticos, la grasa extraída fue analizada mediante pruebas de la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases y pruebas fisicoquímicas para determinar la similitud con la composición de la manteca de cacao. El trabajo concluye que por la similitud encontrada entre los índices de saponificación, el perfil de ácidos grasos y el valor de yodo, la grasa extraída de la semilla de mango es un buen sustituto de grasa que puede ser aplicados a los productos que tiene la inclusión de manteca de cacao.

5.4 Conclusión

El mango es ampliamente cultivado en Colombia, entre los usos que se le ha dado tradicionalmente se encuentran el consumo en fresco, pulpas, jugos, néctares, jaleas, mermeladas, dulces y mínimamente procesados, siendo esta alternativa una opción destinada atender las tendencias actuales de los consumidores. Recientemente se ha generado una conciencia por el uso de todas las partes del fruto que no solo disminuyan el impacto ambiental sino que permitan el aprovechamiento de compuestos como los antioxidantes y fibras presentes en las cáscaras y semillas. Las alternativas estudiadas como polvos de la fruta, aromáticas de cáscaras, grasas a partir de la semilla, entre otros, ofrecen alternativas de consumo saludables que permiten el aprovechamiento del 100% del producto y la generación de valor de residuos tanto del cultivo como del procesamiento, logrando un cultivo sostenible económicamente y con gran rentabilidad. Adicionalmente se han desarrollado algunas técnicas que contribuyen a aumentar la disponibilidad del producto listo para su consumo y que disminuyen la utilización de empaques debido a la utilización de recubrimientos comestibles, finalmente se encuentra un gran desarrollo de productos innovadores que busca ofrecer diferentes alternativas

de presentación como el mango deshidratado por ósmosis, pasabocas fritos, muffin elaborado con harina de mango, entre otros, que permiten que el consumidor continúe obteniendo los beneficios de este producto en una gran variedad de alimentos.

Referencias

- Ajila, C.M., Aalami, M., Leelavathi, K., Prasada, U.J.S. (2010). Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11, pp. 219-224.
- Calvo, H., Moreno Armendáriz, M., & Godoy Calderón, S. (2016). A practical framework for automatic food products classification using computer vision and inductive characterization. *Neurocomputing*, pp. 911-923.
- Casas, N., Díaz, N., & Rodríguez, C. (2016a). Utilización de cáscaras de manto (*Mangifera indica* L.) deshidratadas en la elaboración de infusiones aromáticas. *Revista Agronomía Colombiana*, pp. 1-4.
- Casas, N., Salgado, Y., Moncayo, D., & Cote, S. (2016b). Efecto del proceso de malteado en la calidad y estabilidad de una bebida de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y mango (*Mangifera indica*). *Agroindustrial Science*, pp. 1-4.
- Carreño Diaz, L., & Nocua Mesa, O. L. (2011). Efecto combinado de dos recubrimientos comestibles con atmósfera en mango (*Mangifera indica*) variedad Tommy Atkins minimamente procesado refrigerado. Bogotá.
- Figuerola, J., Salcedo, J., Aguas, Y., Olivero, R., & Narvaez, G. (2011). Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y perspectiva al uso del propóleo en su formulación. *Revista Colombiana Ciencia Animal*, pp. 386-400.
- Guiamba, I., Ahrne, L., Khan, M., & Svanberg, U. (2016). Retention of -carotene and vitamin C in dried. *Food and Bioproducts Processing*, pp. 320-326.
- Jahurul, M., Zaidul, I., Nik Norulaini, N., Sahena, F., Abedin, M., & Mohd Omar, A. (2014). Hard cocoa butter replacers from mango seed fat and palm stearin. *Food Chemistry*, pp. 323-329.
- Kashif Ghafoor, Omar, A.K.M. (2014). Cocoa butter replacers from blends of mango seed fat extracted by supercritical carbon dioxide and palm stearin. *Food Research International* 65, pp. 401-406.

- Kaushik, N., Pal Kaur, B., Srinivasa Rao, P., & Mishra, H. (2014). Effect of high pressure processing on color, biochemical and microbiological characteristics of mango pulp (*Mangifera indica* cv. Amrapali). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, pp. 40-50.
- Khaliq, G., Muda, M., Ghazali, H., Ding, P., & Ali, A. (2016). Influence of gum arabic coating enriched with calcium chloride on physiological, biochemical and quality responses of mango (*Mangifera indica* L.) fruit stored under low temperature stress. *Postharvest Biology and Technology*, 362-369.
- Kumar Chauhan, A., & Patil, V. (2013). Effect of packaging material on storage ability of mango milk powder and the quality. *Powder Technology*, pp. 86-93.
- Liu, F., Wang, Y., Li, R., Bi, X., & Liao, X. (2014). Effects of high hydrostatic pressure and high temperature short time on antioxidant activity, antioxidant compounds and color of mango nectars. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, pp. 35-43.
- Naresh, K., Varakumar, S., Shekhar Variyar, P., Sharma, A., & Sarathi Reddy, O. (2015). Effect of γ -irradiation on physico-chemical and microbiological. *Food Bioscience*, pp. 1-9.
- NTC 5468. (2012). Jugo (zumo), pulpa, néctar de frutas y sus concentrados.
- Ong, M., Yusof, M., Chin, N., & Mohd, N. (2014). Characterisation of fast dispersible fruit tablets made from green and ripe mango fruit powders. *Journal of Food Engineering*, pp. 17-23.
- O'Shea, N., Arendt, E., & Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, pp. 1-10.
- Ramirez, J., Blancas, F., Zamora, V., Bello, L., Tovar, J., & Sáyago, S. (2015). Nutritional properties and phenolic content of a bakery product. *Food Research International*, pp. 117-123.
- Rico, F., Gutiérrez, C., & Díaz, C. (2012). Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano y aceites esenciales en la calidad microbiológica de mango (*Mangifera indica* L.) mínimamente procesado. *Vitae*, pp. S117-S119.

- Rosalie, R., Joas, J., Deytieux-Belleau, C., Vulcaina, E., Payet, B., Dufossé, L., & Léchaudel, M. (2015). Antioxidant and enzymatic responses to oxidative stress induced by. *Journal of Plant Physiology*, pp. 68-78.
- Salinas, B., Soliva, R., Welti, J., & Martín, O. (2016). Combined effect of pulsed light, edible coating and malic acid dipping. Combined effect of pulsed light, edible coating and malic acid dipping, pp. 190-197.
- Serna-Cock, L., Torres, C., & Ayala, A. (2015). Evaluación de Polvos Alimentarios obtenidos de Cáscaras de Mango (*Mangifera indica*) como fuente de Ingredientes Funcionales. *Información tecnológica*, pp. 41-50.
- Silva, J., Guim, A., Carvalho, F., Mattos, C., Menezes, D., Garcia, D., . . . Pereira Neto, J. (2015). Multivariate analysis of characteristics associated with performance of dairy goats fed integral mango meal. *Small Ruminant Research*, pp. 10-16.
- Torres-León, C., Rojas, R., Contreras-Esquivel, J., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R., Aguilar, C. (2016). Mango seed: Functional and nutritional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 55, pp. 109-117.
- Villamizar, R., & Giraldo, G. (2010). Obtención y caracterización de un pasabocas a partir de una pasta a base de mango mediante fritura por inmersión. *Tumbaga*, pp. 149-164.
- Zambrano, J., Valera, A., Maffei, M., Materano, W., & Quintero, I. (2008). Efecto del escaldado y la adición de preservativos sobre la calidad de la pulpa de mango tipo "Bocado" almacenada bajo refrigeración. *Agronomía Tropical*, pp.257-262.

6. Equipos empleados en el procesamiento del mango y la quinua

*Gloria Helena González Blair
Pedro Alejandro García Ávila*

6.1 Introducción

Para seleccionar o comprar equipos es necesario establecer claramente el proceso productivo, contemplar las funciones de cada equipo, conocer la velocidad de producción, definir el tiempo de funcionamiento diario, semanal y anual, y especificar las características del producto (Santacruz y Suárez, 2007). Otro aspecto a considerar es la distribución de los equipos en la planta de producción (Zambrano, 2007); más aún si se tiene en cuenta que la forma de organización del proceso productivo determina la selección del tipo de distribución en planta en: 1) orientadas al producto y asociadas a configuraciones continuas o repetitivas; 2) orientadas al proceso y asociadas a configuraciones por lotes; y 3) distribuciones por posición fija, asociados a configuraciones por proyecto (García, 2004).

Así, las operaciones y equipos requeridos en función de la línea de producción, son:

1. Despulpadora y comercializadora de frutas

Recepción y almacenamiento de materia prima (almacén, clasificadora, balanza), prelavado (tanque de inmersión), picado o pelado (cortadora o peladora), lavado (lavadora de frutas), escaldado (marmita), despulpado (despulpadora), inspección y ensayo, envasado (envasadora) y sellado (selladora), etiquetado (etiquetadora), congelación (congelador, embalaje (montacargas) y almacenamiento (almacén) (Zambrano, 2007).

2. Productora de compotas, mermeladas y bocadillos

Recepción y almacenamiento de materia prima (almacén, balanza), selección (clasificadora), lavado y desinfección (lavadora), escaldado (marmita), extracción de la pulpa (despulpadora), formulación (balanza, dosificadora), cocción (marmita), moldeo (molde), empaque (empacadora), empaque (empacadora), esterilización (esterilizador comercial) enfriamiento (banda transportadora o mesa de trabajo) etiquetado (etiquetadora), embalaje (montacargas) y almacenamiento (almacén) (IICA, 2014).

3. Producción de bebidas

Recepción y almacenamiento de materias primas (almacén), lavado (lavadora), remojo (tanque de remojo), germinación (incubadora y estufa de secado), selección (clasificadora), despulpado (despulpadora), cocción (marmita), filtración (filtro), homogenizador (licuadora industrial), envasado (embotelladora), pasteurización (pasteurizador), choque térmico (tanque de inmersión) y almacenamiento (refrigerador) (Cerezal et al, 2012).

4. Producción de barras de frutas y cereales

Recepción y almacenamiento de materia prima (almacén, dosificadora, balanza), mezclado (mezcladora), formado (moldes), precortado (cortadora), secado (horno), enfriamiento (banda transportadora), envasado (envasadora en bolsas termoselladas y almacenamiento (almacén) (Olivera et al, 2012).

5. Producción de *snacks*

Recepción y almacenamiento de materias primas (almacén), selección y pelado (clasificadora y peladora), molienda (molino y tamiz), laminado (laminadora), extrusión (extrusora), acabado del *snack* (horno de panadería, freidora), saborización (tanque de sabor), fritura (freidora), escurrido (tamiz), empaque (empaquetadora), embalaje (montacargas) y almacenamiento (almacén) (Espín, 2010).

Por lo tanto, los equipos pueden clasificarse en equipos para operaciones preliminares o de adecuación, equipos para operaciones de proceso y equipos para operaciones de acabado o finales. A continuación, se describen algunos de los que conforman cada uno de los grupos enunciados:

6.2 Equipos para operaciones preliminares

1. Balanza industrial:

Se utilizan para pesar las materias primas mediante la comparación del objeto que se quiere pesar con otro de peso conocido; en su forma más sencilla consiste en dos platos que cuelgan de una barra horizontal sujeta en su centro y que permanece nivelada cuando alcanza el equilibrio. Comercialmente se encuentran análogas y digitales, para uso sobre mesa, piso o gancho; las hay con diferente rango de pesado: 15, 30, 60, 75, 150 y 300 kg; impermeables, de acero inoxidable, lavables. Las grandes industrias, utilizan además, balanza de sobresuelo de acero lacado en modelos de 500 y 1.500 kg (PCE, 2010).

2. Dosificadora:

Equipo que sirve para suministrar cantidades determinadas de un producto o sustancia; en general está constituido por tres partes: tolva de almacenamiento, sistema dosificador y boquilla o tubo de descarga. Estas partes pueden variar en diseño, de acuerdo con el producto a suministrar, la forma de descarga (peso o volumen) y la cantidad de material a dosificar. Pueden ser: 1) volumétricos, se utilizan principalmente para dosificar

sustancias homogéneas en sus características físicas (forma, tamaño y peso), tales como líquidos viscosos, polvos, algunos cereales y granos; 2) de líquidos, están constituidos por una válvula de bola y por una bomba dosificadora (pistón y cámara de dosificado) y se utilizan únicamente para aportar productos y sustancias líquidas, de fácil fluidez, tales como agua, jugos, leches, néctares; 3) de bomba, se utilizan para proveer sustancias viscosas y pastosas, de difícil fluidez y conducción por tubos, tales como grasas, ceras, purés, compotas y salsas; 4) por tornillo sin fin, se utilizan para dosificar harinas y polvos granulados, así como pastas, cremas y algunos productos viscosos; en estos equipos, el producto es evacuado de la tolva en la cantidad y tiempo deseados de acuerdo con el número de revoluciones y la velocidad de giro del tornillo sin fin; 5) de vasos telescópicos, constituidos por una tolva de almacenamiento, dos agitadores y su motor reductor, un tambor de vasos y su motor reductor, y un embudo de caída; utilizados para dosificar productos granulados; y 6) por peso, adecuados para productos con características físicas y de forma heterogéneas, tales como pasabocas tipo *snacks* (Pinto y Durán, 2006).

3. Lavadora de frutas:

Se utiliza para lavar frutas y hortalizas. Las hay de inmersión, cepilladoras y de inmersión y aspersión y combinadas. Las máquinas de inmersión lavan de manera continua frutas y verduras particularmente delicadas en su manejo tales como guayaba, brócoli, champiñón, coliflor, espárrago y tomate, sumergiéndolas y agitándolas primero en una tina con agua recirculada y enjuagándolas después con chorros de agua limpia al tiempo que avanzan sobre un elevador tipo malla, eliminando residuos como tierra, basura, abono, insectos y pesticidas adheridos al producto (Zapata, 2010). Las lavadoras cepilladoras cuentan con una cuba (hemisférica, con recubrimiento, recta, cónica, vulcanizada, provista de cuchillas o sin cuchillas) y una bandeja (lisa con salientes, vulcanizada, con cepillos), utilizan motores mono o bivelocidad y agua fría (Saget, 2010). Las de inmersión y aspersión emplean un tanque de inmersión con turbulencia y una ducha de aspersión plana para terminar el lavado superficial del producto. Para su selección debe contemplarse la eficiencia del proceso, la reducción en consumo de agua durante la operación y la versatilidad de uso en diferentes productos (CI Talsa, 2015).

4. Lavadora de quinua:

Este equipo está diseñado para el lavado de diferentes variedades de quinua por medio centrífugo; busca desprender la saponina responsable del sabor amargo (IICA, 2014), utiliza paletas graduables horizontales y cuenta con una compuerta para descargar la quinua lavada. El desaponificado por lavado es conocido como el método húmero y consiste en someter al grano de quinua a un proceso de remojo y turbulencia en agua circulante para conseguir que la saponina se elimine disuelta en el agua de lavado. Sin embargo, cabe anotar que el método húmedo presenta los siguientes inconvenientes: 1) excesivo uso de agua; 2) contaminación de las fuentes en las que se deposita el agua de lavado; y 3) necesidad de un sistema de secado eficiente, para evitar que el grano germine o se contamine por la humedad que ha absorbido (Nieto y Vimos, 1992). Tomando como referencia la cantidad de saponina eliminada, la lavadora tipo licuadora (3.400 rps) con carga de 6 kg y cuatro minutos de tratamiento, absorbe el 19,26% de agua y pierde el 1,21% de proteína (Nieto y Soria, 1991).

6.3 Equipos para operaciones de proceso

1. Amasadora:

Equipo utilizado para mezclar los ingredientes y obtener una masa homogénea. De acuerdo con el tamaño y las presentaciones que ofrece, se clasifica como convencional o rápida. La primera se caracteriza por realizar un amasado lento (entre 30 y 40 minutos); la segunda, por disponer de dos velocidades, una lenta para comenzar el mezclado de los ingredientes y otra rápida para terminar el trabajo (en 8 a 10 minutos). En los últimos años, se ha incorporado la modalidad de amasado con cazuela extraíble, la cual permite reposar la masa a mitad del amasado para facilitar la autólisis o proceso de fermentación global, o incluso reposar la masa, unos minutos, antes de la división. Este recipiente está construido en acero inoxidable y equipado con elevadores que permiten verter la masa sobre la tolva de la divisora. Además, una amasadora industrial puede tener: ciclos automáticos programables con dos temporizadores, uno para cada velocidad (lenta o rápida); sistema automático de raspadura de la

cazuela; sistema de detección de la temperatura por display; y sistema de inyección de gas para controlar la temperatura del amasado. Otra forma de clasificar la amasadora es por la forma del brazo que utiliza, así: de eje espiral, de brazos y de eje oblicuo (Chaparro & Paternina, 2009).

2. Molino:

Máquina que sirve para triturar, moler, laminar o estrujar materias sólidas. Su uso en la industria de alimentos busca reducir el tamaño promedio de un material mediante la aplicación de fuerzas que pueden ser de impacto, abrasión o compresión, para crear partículas más pequeñas mediante acciones que generen fractura o desgarre del producto (Varzakas & Tzia, 2015; McCabe et al., 2007 y Fellows, 2007).

Dependiendo del alimento sobre el que se aplique el esfuerzo, esta operación recibe nombres particulares tales como triturado, molienda, laminado o estrujado; y el material sólido está sujeto a esfuerzos por aplicación de diferentes tipos de fuerza: compresión, impacto y cizallamiento; fuerzas que pueden ser usadas en el proceso de reducción de tamaño dependiendo de las propiedades mecánicas del material y del tamaño final del producto (Tabla 1). En general, las de compresión se emplean para materiales duros, las de impacto para materiales semi-suaves y las de corte para materiales suaves (Varzakas & Tzia, 2015).

Tabla 1. Descripción de los diferentes tipos de molino

Máquina	Fuerza aplicada	Tipos de equipos
Trituradora	Compresión, impacto.	Quebrantadora, trituradora de mandíbulas, trituradora giratoria, trituradora de rodillos.
Molinos	Impacto y fricción, combinados a veces con compresión.	Molino de martillos, molino giratorio de compresión (de rodillos y de barras), molino de fricción, molino giratorio (de barras, de tubos, de bolas).
Laminadora	Compresión, tracción, flexión, cizallamiento.	En función del tipo de rodillos (cilíndricos, cónicos, lisos, dentados).
Estrujadora	Compresión.	Prensa, tornillo sin fin.

Fuente: Ortiz y Tirado, 2005

La **trituration** se denomina también desintegración y las máquinas que la producen son trituradoras, desintegradoras, quebrantadoras o machacadoras. Se realiza en distintas etapas: grosera, mediana y fina, y corresponden, prácticamente, a la primera, segunda y tercera etapa de trituración. Las trituradoras de mandíbulas comprenden las denominadas de acción periódica y de acción continua (Universidad de Buenos Aires, 2015).

En la industria de alimentos es quizás la **molienda**, la operación más ineficiente, ya que de toda la energía suministrada al equipo, muy poca se emplea en la reducción del tamaño de la partícula (0,1 a 2%); la gran mayoría se utiliza en deformación elástica e inelástica del material, distorsión elástica del equipo, fricción entre partículas o entre partículas y equipo, pérdidas de fricción en el equipo, calor, ruido y vibración (Varzakas & Tzia, 2015; Brennan, 2008).

La **laminación** es un proceso utilizado para reducir el espesor de una lámina, o en general, para alterar las medidas del área transversal de una pieza larga mediante fuerzas de compresión, las cuales son generadas por el paso entre un juego de rodillos. Esta disminución del espesor se da gracias a que los rodillos tiran el material hacia dentro del espacio de laminación a través de una fuerza de fricción neta sobre el material. Existen dos tipos de laminado a considerar: laminación en caliente y laminación en frío; la primera se realiza por encima de la temperatura de recristalización y la segunda por debajo de esta (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2011). En el caso de la quinua, tiene por objeto la formación de hojuelas a partir de los granos, mediante su compresión entre dos rodillos metálicos lisos de giro convergente. Por efecto de la compresión, la merma no es mayor al 0,5%, el proceso se realiza en frío y los rodillos funcionan a una velocidad tangencial de 75 m/seg (Meyhuay, 2013).

El **estrujado** es un proceso conocido como molienda o aplastamiento, se aplica a las uvas, una vez separadas del raspón (despalillado) y antes de la maceración. Busca romper los hollejos y desprender la pulpa, facilitando la extracción del mosto. Debe ser suave para evitar el triturado de las semillas (pepitas) y del raspón (Beltrán, 2011).

Para el cálculo de la energía relacionada con este proceso, la literatura técnica relaciona tres leyes: Kick, Rittinger y Bond. La Ley de Kick es útil para

predecir el gasto energético de las partículas gruesas con alto valor en área superficial y características elásticas; la Ley de Rittinger se aplica a materiales quebradizos con pequeño tamaño de partícula, llevados a molienda fina, que generan un alto valor en el área superficial obtenida; y la Ley de Bond, adecuada para aquellos procesos en los que no se pueden usar las ecuaciones anteriores (Varzakas & Tzia, 2015; Brennan, 2008; McCabe et al., 2007; Fellows, 2007 y Geankoplis, 1999).

En este proceso: 1) al aumentar el área superficial del material, y por tanto, la relación superficie/volumen, se mejora la velocidad de calentamiento, enfriamiento y extracción de compuestos solubles; 2) la combinación con la operación de tamizado permite obtener partículas con una distribución determinada para uso en productos específicos; y 3) se obtienen productos de tamaño homogéneo, lo cual favorece el mezclado de ingredientes.

Así mismo, para seleccionar el equipo de reducción de tamaño se deben tener en consideración varios aspectos: 1) conocer la naturaleza del material en cuanto a si es blando, quebradizo, duro, abrasivo, elástico, cortable, fibroso y sensible al calor, entre otros; 2) saber el tamaño de partícula al que se va a llevar el producto: grueso, semifino, fino o ultrafino (Fellows, 2007); y 3) identificar en los alimentos su porcentaje de humedad (si la humedad es alta, provoca aglomeraciones y bloquea el molino disminuyendo la eficiencia y capacidad del equipo; y si es baja, genera un material extremadamente fino, difícil de separar en el tamizado, capaz de contaminar el producto, generar problemas respiratorios en los operarios y conllevar a riesgos de explosión), y su sensibilidad a la temperatura (pues la molienda, gracias a su ineficiencia, genera demasiado calor y este, en exceso, puede ser trasladado al producto, el cual, si es termosensible, afecta su calidad) (Brennan, 2008).

Los molinos utilizados para reducir el tamaño de los productos alimenticios sólidos pueden ser de bolas, discos, martillos y rodillos; cada uno, con predominio de un tipo de fuerza (Tabla 2); siendo los de martillos los más adecuados para materiales de uso general: duros, desmenuzables, fibrosos o pegajosos (Brenna, 2008).

Tabla 2. Descripción de los diferentes tipos de molino

Molino	Características	Fuerza aplicada
Bolas	Contienen esferas de acero o pedernal, con 25 - 150 mm de diámetro.	A baja velocidad: cizallamiento A alta velocidad: impacto
Discos	Tiene discos estriados. En un modelo, uno gira y el otro es estático. En otro modelo, los dos giran pero en sentido contrario.	Fricción Cizallamiento
Martillos	Rotor que arrastra una serie de martillos y gira entre 1.000 y 1.200 rpm. Se conoce como de cuchilla cuando los martillos se cambian por cuchillas.	Impacto Cizallamiento
Rodillos	Los rodillos pueden ser lisos o acanalados. Para moliendas finas se usan diferentes velocidades.	Compresión Para moliendas finas: cizallamiento

Fuente: Fellows, 2007

La aplicación de estos equipos en la industria de alimentos es extensa (Tabla 3) y requiere contemplar los siguientes aspectos:

- La extensión de la molienda está influenciada por la magnitud de la fuerza aplicada y su tiempo de aplicación. Por tanto, una molienda eficiente debe tener el menor consumo posible de energía.
- Para seleccionar el equipo se debe considerar, en cuanto al producto: propiedades mecánicas y estructurales, contenido de humedad, sensibilidad a la temperatura, distribución de tamaño del alimento y del producto; y en cuanto al equipo: tamaño, capacidad, velocidad rotacional y limpieza.
- A medida que el tamaño disminuye, se debe incrementar la potencia del equipo, por lo que es importante determinar previamente la distribución adecuada para evitar un desperdicio de tiempo y energía reduciendo el tamaño del producto más de lo adecuado para cumplir con los requerimientos.
- El grado de reducción del tamaño de partícula depende de la magnitud de las fuerzas así como del tiempo de aplicación (Varzakas & Tzia, 2015; Fellows, 2007).

Tabla 3. Tipo de molino a utilizar en función del alimento

Molino	Requiere	Bolas	Discos	Martillos	Rodillos
Trigo	Acondicionamiento y limpieza previa.				Estriados
Arroz entero	Dejar el endospermo y retirar tanto el salvado como el embrión.				Especiales de goma
Maíz	Molituración húmeda para separar algunos de sus constituyentes (almidón, aceite, proteína, fibra).			X	
Chocolate	Tres etapas	X		X	
Café	Que el contenido de humedad del café tostado esté por debajo de 5-6%.		X		X
Semillas oleosas	El grado de molienda.				X
Caña de azúcar	Que el almacenamiento de caña no sea prolongado.				X
Quinua	Someter el grano a una limpieza y ajustar la humedad (máximo 14%).				Especiales de goma
Quinua descascarillada	Retirar el polvo y asegurar un máximo del 14% de humedad.		X	X	

Fuente: Brennan, 2008; Callejo, 2002; Hernández, 2012; Varzakas & Tzia, 2015

Para obtener los granos perlados, es preciso retirar su cáscara y esta operación se consigue con un equipo que dispone de rodillos de goma (Callejo, 2002); sin embargo, teniendo en cuenta los bajos volúmenes de producción de la quinua, para su descascarado (sacarificación) no se desarrollaron equipos específicos para esta operación, razón por la cual se adaptaron tecnologías provenientes del arroz y del trigo (Birbuet et al., 2008) para retirar las capas exteriores del grano (episperma y segmentos secundarios) en las que se concentra la mayor parte de la saponina (Meyhuay, 2013). Actualmente, debido al auge que en años recientes ha tenido la quinua, países como Perú y Bolivia han diseñado equipos más acordes con el proceso, ejemplos de estos se pueden consultar en Fischer Agro (<http://www.fischer-peru.com/>), Vulcanotec

(<http://www.vulcanotec.com/es/>) y Maku Industrias (<http://www.makuindustrias.com/>), entre otras.

Otra de las grandes aplicaciones de las máquinas de reducción de tamaño se refiere a la fabricación de harinas (trigo, maíz, arroz y cebada), la cual tiene como fin separar el endospermo del salvado y del germen. La materia prima a moler debe estar limpia y con el contenido de humedad requerido; puede encontrarse seca o tostada, dando origen respectivamente, a harina cruda o tostada (Figura 1). A nivel rural, se utilizan frecuentemente los molinos de piedra y los de martillo, siendo estos últimos los más eficientes (Meyhuay, 2013).



Figura 1. Molino de discos con mango deshidratado (izquierda) y molino de martillos con quinua (derecha)

Como complemento al proceso de reducción de tamaño se presenta la operación de tamizado, la cual utiliza los equipos conocidos como tamices y se basa en la diferencia de tamaño. Los tamices son equipos empleados para la separación de partículas sólidas de diferente tamaño. Un tamiz puede efectuar solamente una separación en dos fracciones y estas fracciones se conocen como fracciones de tamaño no especificado por desconocerse su tamaño real (UNAM, 2004). Esta operación, adicionalmente, se utiliza para eliminar contaminantes de un tamaño diferente al de la materia prima, así como para conocer la distribución del tamaño de partículas (utilizando un juego de tamices apilados verticalmente (Figura 2) e identificados con un parámetro conocido como número de mallas, siendo los tamices con valores pequeños en número los de mayor tamaño de abertura. Las tres metodologías más empleadas son Tyler, British standard y American Society for Testing Materials–ASTM). El principio físico del tamiz consiste en una placa perforada

sostenida en un marco (tamiz discontinuo) o tamices continuos como el de tambor o el centrífugo (Brennan et al., 1998).



Figura 2. Juego de cuatro tamices para separar quinua procesada en molino de martillos (izquierda) y producto separado por diferencia de tamaño (derecha)

3. Pasteurizador:

Equipo de placas o tubos totalmente hermético que cumple con la doble función de pasteurizar y enfriar un alimento para su envasado. Se utiliza en la operación conocida como pasteurización, la cual corresponde a una etapa crítica en el proceso de elaboración, puesto que asegura la inocuidad al controlar el riesgo de contaminación con microorganismos patógenos. Industrialmente se utilizan los pasteurizadores de tina (por lote o *batch*) para procesar cantidades pequeñas y los *High Temperatura Short Time* (HTST) para procesar en forma continua grandes volúmenes, automatizar el proceso, facilitar la limpieza y aumentar la eficiencia energética (Rubino, 2014).

4. Refrigerador:

Es un dispositivo aislado térmicamente que sirve para bajar la temperatura y se utiliza en la refrigeración, una operación unitaria que tiene como fin la aplicación a un producto, de un valor bajo de temperatura, entre la temperatura del medio circundante y la de congelación del producto (Tscheuschner, 2007). En la industria alimentaria, se define refrigeración como una operación que se aplica a los alimentos perecederos para alargar su vida útil, de manera tal que permanezcan higiénicamente seguros y organolépticamente aceptables mediante su conservación entre

-1 y 8 °C (Aguado, 1999; Fellows, 2007). En general, evita el crecimiento de microorganismos termófilos (rango de crecimiento entre 35 y 55 °C), muchos mesófilos (rango de crecimiento entre 10 y 40 °C) y algunos psicrófilos (rango de crecimiento entre -5 y 15 °C) que pueden alterar los alimentos refrigerados pero que no son patógenos (Fellows, 2007).

Adicional a la temperatura de refrigeración se deben tener presente otros factores que determinan la vida útil de los productos almacenados, ya sean frescos y procesados, entre los que se encuentran: tipo de alimento, parte anatómica, humedad relativa, condiciones de higiene durante la elaboración y el envasado, permeabilidad del envase e intensidad de la destrucción en los alimentos procesados (Fellows, 2007).

El efecto conservador de la refrigeración de los alimentos se puede mejorar mediante la sustitución del aire por gases protectores, tales como nitrógeno o dióxido de carbono; y garantizando la cadena de frío (con una temperatura cercana a 0 °C) desde el productor hasta el consumidor. Es importante tener presente que la refrigeración no destruye los microorganismos ni reduce a cero las reacciones bioquímicas y químicas, por lo que estos alimentos tienen una vida relativamente corta (días o semanas) aunque superior a la obtenida bajo condiciones ambientales de almacenamiento (Aguado et al., 1999).

En términos generales, el análisis físico del proceso de enfriamiento se consigue mediante un sistema de refrigeración, el cual permite la transferencia de calor desde una cámara de enfriamiento hasta un lugar donde le calor sea fácilmente descargable. El refrigerante cambia el estado de líquido a vapor y puede ser amónico (Pe = -33,3°C), dióxido de carbono (Pe = -57°C) o compuestos clorofluorocarbonados tales como freón 11 (23,71 °C) y freón 12 (-29,8 °C), entre otros (Gopala, 2009; Singh & Heldman, 2009). Aunque estos últimos, al alcanzar las altas regiones de la estratósfera son fotodisociados por la luz solar y destruyen la capa de ozono, fenómeno que ha sido relacionado con la producción de cáncer en la piel (Plazas, 2012), razón por la cual se desarrollaron “refrigerantes verdes” como el R-123 (27,8 °C) y el R-134a (-26,2 °C). Cada refrigerante tiene sus características propias y estas deben tenerse presentes para su adecuada selección (Gopala, 2009; Singh & Heldman, 2009).

5. Secador:

Aparato diseñado para realizar la operación de secado, un proceso de transferencia de calor y de masa que busca remover por evaporación agua u otro solvente de un producto sólido, semisólido o líquido. La duración del tiempo de secado depende de la naturaleza del producto, así como del método y de las condiciones de secado. El proceso se puede efectuar en dos momentos: a partir de su forma natural (frutas, granos, vegetales, leche) o después de procesado el alimento (café instantáneo, mezcla de sopas). La adecuada eliminación de agua en el proceso de secado permite obtener alimentos estables y seguros desde el punto de vista microbiológico; así, valores de humedad por debajo del 15% ayudan a inhibir el crecimiento de microorganismos y a conservar en gran medida las propiedades físicas, químicas y nutricionales de los alimentos (Varzakas et al., 2015; Geankoplis, 1999).

La evolución en el diseño de los sistemas de secado ha estado influenciada principalmente por dos aspectos: calidad final de los productos y eficiencia energética; a través de cuatro generaciones de diseño de equipos:

- **Primera generación:** uso de aire caliente sobre la superficie del alimento para retirar su humedad, a través de secadores de cabina, de bandejas, de túnel y rotatorios, entre otros. Estos secadores son adecuados para materiales sólidos como frutas y vegetales en tajadas y granos.
- **Segunda generación:** equipos para secar pastas y purés capaces de producir material en polvo y hojuelas, tales como atomizadores y secadores de tambor.
- **Tercera generación:** incluye los métodos de secado por congelación y ósmosis; el primero utiliza la sublimación y el segundo un diferencial de la presión osmótica.
- **Cuarta generación:** se refiere a equipos que emplean técnicas actualmente en desarrollo, tales como alto vacío, lecho fluidizado, radiofrecuencia y ventana refractiva, entre otras (Varzakas et al., 2015).

Desde el punto de vista del proceso, el secado puede ser por lotes cuando el alimento se introduce en el secador y el proceso se cumple en un periodo de tiempo determinado; o en continuo si el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen continuo (Geankoplis, 1999).

Dentro de los sistemas de secado están los siguientes equipos:

- **Secador solar:** proceso más antiguo y simple; caracterizado por requerir largos tiempos de operación y gran área de exposición; la calidad del producto es pobre debido a posibles reacciones indeseadas, así como a la exposición de rayos solares, animales y sustancias tóxicas.
- **Secadores de aire caliente:** corresponden a los equipos de secado más comunes; se caracterizan por presentar en el proceso baja eficiencia y poca calidad del producto debido a la exposición de este con oxígeno a altas temperaturas. Uno de los equipos más representativos es el secador de bandejas, cuyo principio físico se basa en la pérdida de humedad, debido al movimiento de aire caliente que se pone en contacto directo con el producto a secar, el cual se encuentra depositado sobre bandejas. El aire se retira y se lleva parte de su humedad (aproximadamente entre 0,1 a 1 K_g/m^2h) mediante mecanismos de convección (Figura 3).



Figura 3. Horno de convección para procesos de secado por aire caliente

A continuación se describen otras características relevantes del equipo:

- Profundidad de bandejas entre 10 y 100 mm.
- El proceso de secado es por lotes, por lo que al finalizar el secado se abre el gabinete y se reemplazan las bandejas dentro del secador con bandejas nuevas que contiene material fresco.
- Rendimiento térmico entre 20 y 60%.
- Se puede mejorar el rendimiento del equipo con un sistema de recirculación de aire de aproximadamente 15%.
- El secado del producto no es uniforme (Geankoplis, 1999; Mc Cabe W. et al., 2007; Varzakas et al., 2015).

6. Secador con bomba de calor:

Es un equipo de secado que emplea y relaciona los principios termodinámicos del ciclo inverso de Carnot, la bomba de calor y el concepto de calor latente (Cengel % Boles, 2012). Su funcionamiento consiste en una corriente de aire “seco” en movimiento, para retirar la humedad del producto que se encuentra dentro del equipo, condensarla y ceder su calor latente, a una sustancia refrigerante que se halla en el evaporador del sistema de refrigeración incorporado (bomba de calor). A la vez, este refrigerante, devuelve el calor al condensador, a una corriente de aire fresco para darle capacidad de retirarle la humedad al producto. El proceso anterior da al secador con bomba de calor varias características particulares:

- Puede operar en forma independiente a las condiciones externas ambientales.
- No emana humo o vapores.
- El condensado de la humedad retirada del producto se puede coleccionar y recuperar los volátiles del alimento.
- Se puede acondicionar el uso de atmósferas modificadas para materiales sensitivos al secado.
- En motor, ventilador y compresor del equipo se puede integrar al equipo y colocarlo dentro la cámara para aprovechar el calor y no eliminarlo a la atmósfera.

El uso de la bomba de calor ofrece varias ventajas sobre secadores convencionales de aire caliente usados para secar productos alimenticios: mayor

eficiencia térmica, mejor calidad en los productos, habilidad para operar en forma independiente a las condiciones ambientales exteriores y muy bajos impactos ambientales. Adicionalmente, una diferencia importante entre los dos sistemas es que en un secador convencional a baja temperatura (10–30 °C) no puede secar los productos debido a la alta humedad relativa 0,70 – 0,90; mientras que en el secador con bomba de calor el proceso se puede realizar a bajas temperaturas, puesto que la humedad se baja hasta 0,1 (Shafiur, 2007).

7. Secador de lecho fluidizado:

El principio de este secador se basa en aprovechar el efecto combinado de velocidad y temperatura del aire, de tal manera que al pasar aire caliente a una velocidad dada sobre las partículas de un alimento, se pueda vencer el peso de estas y mantenerlas, posteriormente en estado fluidizado (Casp et al., 1999). Se entiende por fluidización, la transformación de un lecho de partículas finas en un estado tipo líquido pasando un gas o un líquido a través de dicho lecho de partículas (Izasa, 2016). Así, el aire caliente tiene la capacidad de retirar la humedad del producto y de secarlo a las condiciones requeridas. El equipo consta básicamente de una cámara metálica integrada a un sistema de movimiento y de calentamiento de aire. La cámara tiene incorporada una base perforada que permite el paso y la distribución uniforme de los gases, a través del lecho de partículas. Las ventajas particulares de secado de este equipo se consiguen principalmente debido a: valores elevados de área expuesta a la transferencia por parte de las partículas y proceso de mezcla intensa debido a la velocidad del aire y las partículas fluidizadas. En este equipo sobresalen las siguientes características:

- El tamaño recomendado de partículas debe estar entre 10 μm – 20 mm; y en lo posible, sus diámetros deben ser uniformes.
- Valores altos de coeficientes de transferencia de calor y masa.
- Secado uniforme.
- Tiempo de secado corto.
- Temperaturas altas de secado (cerca de 150 °C).

En el secado de partículas, con rango amplio en el tamaño, se presenta el inconveniente de secado no uniforme dada la dificultad de fluidizar todas las

partículas. Esto se puede mejorar con un sistema de vibración (Casp, 1999). En general, este sistema se recomienda para sustancias temolábiles, ya que la temperatura del aire que se inyecta se puede controlar y arrastra fácilmente los solventes (Izasa, 2016).

8. Despulpadora:

Se afirma que fue diseñada por don Otto Nicklaus Kuhl von Derfectch, un alemán que viajó a Nicaragua. En 1981 la construyó para que don Luis Elster despulpara café, utilizando dos cilindros con cabezas de tornillo que apenas salían de la superficie de los cilindros y que lograban quitar la cáscara roja del grano de café (Selvanegra, 2016), con ayuda de un motor eléctrico (Monroy & Granados, 2012).

Se utiliza para separar la semilla y la piel de la pulpa de las frutas, en la operación conocida como despulpado. El proceso se inicia en frutas como la mora, la guayaba o la fresa, depositando la fruta en la tolva de alimentación, previamente higienizada; o bien, sometiendo la materia prima a una adecuación previa (Tirira & Castro, 2014), como es el caso de la guanabana (pelado y corte), el zapote (pelado), la manzana (pelado, corte y escaldado) y el tomate de árbol (escaldado y pelado). Una vez que la fruta entera, pelada o picada, ingresa a la tolva de alimentación del equipo, es llevada a la zona de ruptura de la cáscara y, posteriormente, el producto pasa a la zona de presión, cuya función es presionar el fruto contra el tamiz y filtrar las partículas. Las semillas, cáscaras y vástagos siguen su curso y se desalojan por la parte posterior del equipo. La pulpa se filtra por el tamiz y se descarga por uno de los lados del equipo (CI Talsa, 2008).

Dependiendo de la capacidad de producción y de su diseño, estas máquinas pueden ser:

1. **Manuales:** consiste en hacer bajar un plato de compresión, con ayuda de un sistema de tornillos y guías, para comprimir la fruta contra el fondo de un tanque con orificios que permita el paso de la pulpa hacia un recipiente para la salida de la misma (Gómez & Velasco, 2010).

2. **Semi-industriales:** generalmente son horizontales y pueden ser de paletas o de tornillo sin fin; están destinadas a satisfacer al pequeño y mediano productor; son capaces de producir hasta 50 kg/h de pulpa; permiten el aprovechamiento de la fruta desde el 50% hasta el 90% y son de fácil limpieza y mantenimiento (Tirira & Castro, 2014).
3. **Industriales:** pueden ser horizontales o verticales, con diferente principio de extracción: centrifugado que empuja la fruta contra un tamiz, pistón que comprime la fruta, o cuchillas giratorias que facilitan el licuado de los sólidos (licuadora industrial). Tienen una capacidad de producción superior a 200 kg/h (Gómez & Velasco, 2010).

Por el uso continuo y por el paso del tiempo, los elementos y sistemas de la máquina despulpadora sufren desgaste y degradación, en consecuencia, el mantenimiento es necesario, así:

- Diariamente es preciso limpiar las cuchillas y rascadores.
- Mensualmente se deben tensionar las correas, aplicar grasa multiuso litio #2 azul a las chumaceras, revisar el ajuste de pernos en cuchillas y rascadores; y afilar las cuchillas.
- Trimestralmente se requiere revisar que no existan anomalías en los rodamientos de las chumaceras; y cambiar las placas de nylon de los rascadores.
- Anualmente se deben cambiar los rodamientos de las chumaceras y reparar el motor si existe calentamiento excesivo (Tirira & Castro, 2014).

Generalmente se utiliza para la elaboración de pulpas de frutas y además de esta, se encuentran en la línea de producción los siguientes equipos: guillotina de corte, trituradores, molinos, centrifugadoras, prensas, hornos, licuadoras industriales, lavadora de frutas, marmita (Bastidas, 2011), empacadora al vacío y cuarto frío (Zambrano, 2007).

9. Hornos de panadería:

Es un equipo para cocer pan, que trabaja a temperaturas superiores a la temperatura ambiente en un recinto cerrado. Según la forma como reciben el calor, pueden ser:

1. **Hornos de calentamiento directo:** son calentados en el mismo lugar donde posteriormente se horneará el pan. Son ejemplo de este tipo de hornos los ladrillo o mampostería (Herrera, 2007).
2. **Hornos de calentamiento indirecto:** los gases de calentamiento quedan separados de la cámara de cocción y recorren los radiadores superiores e inferiores para transmitir su calor a la cámara de cocción. En los modelos nuevos, un ventilador de circulación lleva de nuevo los gases a la cámara de combustión, consiguiendo un ahorro energético importante (Termopan, 2006).

De acuerdo con su construcción se clasifican en:

- a) **Hornos de mampostería:** tienen paredes de ladrillo, techo en forma de bóveda, una chimenea al lado opuesto de la compuerta para facilitar la salida de gases y humos de los combustibles, y la contrapuerta. Requieren ser calentados previamente (Herrera, 2007).
- b) **Hornos metálicos:** contruidos mediante estructura metálica con una envoltura desmontable. Los forros laterales pueden ser en PVC o en acero inoxidable en el exterior y galvanizados interiormente; la cubierta suele ser de chapa galvanizada. Las puertas de entrada y salida son ajustables en sentido vertical, dependiendo de la altura del producto a cocer (Termopan, 2006). El piso puede ser móvil o fijo, y si es móvil, su movimiento puede ser horizontal o vertical (Herrera, 2007).

Los hay de bandejas y de túnel. Los de bandejas son hornos a convección con aislamiento especial que permite el ahorro de energía, ventilador tangencial para enfriar la estructura y la puerta del horno, humidificador con control manual o automático para liberar vapor y puerta con doble cristal (Gashor, 2009). Pueden ser calentados con gas o energía eléctrica y utilizan latas o moldes, que requieren del tratamiento denominado “quemado”, el cual contempla las siguientes acciones:

1. Limpiar cuidadosamente los recipientes con un paño limpio.
2. Llevar las latas o moldes al horno a 200 °C y dejarlas quemar hasta que den color metálico oscuro. Para no dañar la lata, asegurarse que la temperatura no supere los 210 °C.

3. Retirar las latas o moldes del horno y estando aún bien calientes, engrasarlos, utilizando un paño limpio.
4. Limpiar nuevamente los recipientes y volverlos a engrasar (Herrera, 2007).

Actualmente, los hornos de panadería cuentan con una cámara de cocción, que permite ajustar, en forma independiente, el calor superior y el inferior; y que además, dispone de piedras de hornear revestidas para facilitar el desarrollo de la corteza, el brillo y el volumen del pan. Así mismo, el sistema de humidificación incluye un generador de vapor con conexión fija de agua y está desarrollado para producir la cantidad de vapor correcta y asegurar que el desprendimiento de las gotas de vapor sea más fino (Wiesheu, 2011).

Los hornos de túnel constan de uno o varios grupos de calentamiento dependiendo de su longitud y cada grupo está compuesto de un quemador, radiadores y un ventilador de circulación, organizados para conformar un sistema de calentamiento con tiro constante. Cuentan con una cinta metálica en continuo movimiento, sobre la cual se coloca el producto. A un lado del horno, se instalan los tiros de regulación de calor y de evacuación de vapor, así como las ventanas de observación del producto (Termopan, 2006).

- c) Hornos combinados:** equipo con sonda que permiten controlar la temperatura interna del producto desde 30 hasta 260 °C, maneja 99 programas y cada programa es modificable en cuatro fases para ajustarse a los diferentes niveles de cocción requeridos; dispone de un ventilador programable de seis velocidades, un control de humedad relativa (0 – 100%) o ausencia de humedad, motores con inversor de giro y luz interna (CI Talsa, 2016).

10. Marmita:

Es una cámara metálica de calentamiento con camisa, que permite circular vapor, agua u otro fluido que transmite calor al contenido del recipiente (Manrique, 2011). El calentamiento se puede realizar de dos formas diferentes, una que consiste en hacer circular el vapor a cierta

presión por la cámara de calefacción, en cuyo caso el vapor es suministrado por una caldera (marmita de vapor) y otra calentando el fluido con resistencias eléctricas (marmita eléctrica). Usualmente tiene forma semiesférica, puede estar provista de agitador mecánico y de un sistema de volteo para facilitar la salida del producto. Puede ser abierta o cerrada: la primera trabaja a presión atmosférica y la segunda al vacío (IICA, 2014). Se utiliza para la cocción de pulpas de fruta y hortalizas o para obtener agua caliente (Errasti et al., 2015). A nivel institucional, comercial o industrial opera entre 20 – 30 psi y algunas recuperan el líquido condensado para almacenarlo en un tanque o conducirlo de nuevo a la caldera mediante bombas. Hay modelos autogeneradores que no requieren suministro de vapor desde una caldera externa y permiten la cocción a temperatura controlada, por vapor indirecto (Manrique, 2011).

11. Equipos para operaciones de acabado:

Dentro de estos se encuentran la empacadora, la envasadora, la etiquetadora, la sacheteadora y la embaladora, entre otros. Así, la envasadora, es un equipo orientado hacia el envasado de los alimentos y requiere del uso de envase: todo recipiente desechable o no, elaborado con materiales de cualquier naturaleza y que se utiliza para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar alimentos, en cualquier fase de la cadena de fabricación, distribución y consumo (Coles et al., 2004).

Son comunes en este tipo de operaciones las empacadoras al vacío diseñadas para realizar de forma automática vacío, sellado, impresión y enfriamiento (Thor, 2016). Las envasadoras de atmósfera modificada capaces de evaluar aire e inyectar un gas o una mezcla de gases (nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono), adecuadas para empaques con condiciones controladas (envasadoras de atmósfera modificada) sin control tras el cierre del envase útiles para envases con propiedades barrera variables (García et al., 2006). Las máquinas llenadoras de productos semilíquidos y viscosos, con sensor para determinar la presencia de envases, transportador con velocidad ajustable, llenado por volumen, nivel o tiempo–presión y freno que permite la salida de envases llenos (Tecnipac, 2016).

Uno de los puntos determinantes a la hora de envasar o empacar es la producción a obtener. Así, para una producción pequeña, se recomienda el uso de una llenadora lineal, mientras que para una producción grande es preferible elegir una llenadora rotativa, la cual elimina los tiempos muertos de espera mientras se van los envases llenos y entran los vacíos. Otro, es saber elegir el envase a llenar y tener en cuenta factores tales como: forma, tamaño de la boca y elementos que incorpora. Adicionalmente, es importante considerar el tipo de producto a envasar puesto que su naturaleza exige diferentes requerimientos: por ejemplo, los productos alimenticios deben ajustarse a normativas legales impuestas por el Gobierno, que obligan a elegir los materiales para la construcción de la maquinaria (Cortés, 2004).

6.3 Conclusión

La selección de equipos para el procesamiento del mango y de la quinua depende de la línea de producción, tipo de operación, la capacidad de producción, el grado de industrialización definido, la cantidad de energía consumida, la inversión requerida en el momento inicial, los costos de mantenimiento y operación, así como de las propiedades de la materia prima y del producto terminado.

Referencias

- Aguado, José; Rodríguez, Francisco; Calles, José Antonio; Cañizares, Pable; López Baldomero; Santos, Aurora y Serrano, David. (1999). *Ingeniería de la Industria Alimentaria*. Editorial Síntesis. España.
- Bastidas, Alexander. (2011). *Proyecto planta despulpadora de frutas "Pulpifrut" Mocoa – Putumayo*. Servicio Nacional de Aprendizaje.
- Beltrán, Rafael. (2011). *La elaboración del vino*. Curso de Enología y Cata del Aula de la Experiencia. Área de Química Analítica. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. España.
- Brennan, James G. (1998). *Las operaciones en la Ingeniería de Alimentos*. Tercera Edición. Editorial Acribia. España.

- Brennan, James G. (2008). Manual del Procesado de los alimentos. Editorial Acribia. España.
- Callejo, María Jesús. (2002). Industria de Cereales. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
- Casp, Ana. (1999). Industria de Cereales. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
- Cengel, Yunus y Boles, Michael. (2012). Termodinámica. 7ª Edición. McGraw-Hill. México.
- Cerezal, P; Acosta, E.; Rojas, G.; Romero, N. y Arcos, R. (2012). Desarrollo de una bebida de alto contenido proteico a partir de algarrobo, lupino y quinoa para la dieta de preescolares. *Nutrición Hospitalaria* 27 (1): pp. 232 – 243.
- Chaparro, Jovanny y Paternina, Alvaro. (2009). Diseño y construcción de un sistema mecánico para la elaboración de moldes de rosquetes cocidos. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- CI Talsa. (2008). Despulpadora de frutas. Recuperado el 13 de julio de 2016 de: http://www.citalsa.com/files/despulpadora_de_frutas_d1000_ci_talsa_09401012.pdf
- CI Talsa. (2015). Lavadora de inmersión con aspersion. Recuperado el 25 de julio de 2016 de: http://www.citalsa.com/files/lavadora_de_frutas_ci_talsa_lia1_inmersion_aspersion_09401114_0.pdf
- CI Talsa. (2016). Horno combinado Piron 7005D. Recuperado el 17 de julio de 2016 de: <http://www.citalsa.com/ciproducts/4/569#firstproduct>
- Coles, R.; McDowell, D.; Kirwan. (2004). Manual del envasado de alimentos y bebidas. AMV Ediciones y Mundi-Prensa España.
- Cortés, Miguel. (2004). Elección de maquinaria para el envasado de productos líquidos. Departamento técnico. MAQUIENVAS S.L. Valencia.
- Errasti, Michel; Sánchez, Andy; De Dios, Antonio y Aballí, Carlos. (2015). Diseño de un sistema para el aprovechamiento integral de la cáscara de arroz. *Ingeniería Energética*. XXXVI (1): 50 – 60.
- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. 2011. Laminación. Protocolo. Curso de Materiales. Facultad de Ingeniería Industrial. Laboratorio de Producción. Bogotá.

- Espín, María Ximena. (2010). Diseño de un plan de buenas prácticas de manufactura para la empresa Cofica. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Escuela Politécnica Nacional.
- Fellows, Peter. (2007). Tecnología del procesamiento de los alimentos: Principios y práctica. Editorial Acribia. Segunda Edición. España.
- García, José. (2004). Distribución en planta. Departamento de Organización de Empresas, Universidad Politécnica de Valencia. España.
- García, Esther; Galo, Lara; Fernández, José Luis. Informe de vigilancia tecnológica. Tecnologías de envasado en atmósfera protectora. Círculo Innovación – Confederación empresarial de Madrid – comunidad de Madrid. Madrid.
- Gashor. (2009). Hornos a Convección. Equipos de panificación S. Coop. España.
- Geankoplis, Christie. (1999). Procesos de transporte y operaciones unitarias. CECSA. México.
- Gómez, Mario Rafael y Velasco, Hermes Fernando. (2010). Diseño y construcción de una planta prototipo procesadora de frutas. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico. Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Gopala, Chandra. (2009). Essentials of food process engineering. CRC Press. Boca Ratón.
- Hernández, Elizabeth. (2012). Tecnología de Cereales. Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería. Programa Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Sogamoso.
- Herrera, Martín. (2007). Manual de mantenimiento preventivo para equipos de panificadora Buena Vista. Estudio Especial de Graduación para conferirle el título de Maestro en Artes en Ingeniería de Mantenimiento. Escuela de Estudios de Postgrado. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- IICA, (2014). Fichas Técnicas. Equipos de procesamiento de alimentos. Recuperado el 20 de julio de 2016 de: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/inpho/documents/EQUIPOS.pdf>
- Izasa. (2016). Secadores de lecho fluido. Werfen Group y Sherwood. España.

- Manrique, Víctor. (2011). Diseño y construcción de una marmita autogeneradora de vapor, a gas natural, como alternativa para la reconversión tecnológica de la industria del bocadillo en Vélez, Santander. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Físico – Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga.
- Macabe, Warren; Smith, Julian y Harriott, Petter. (2007). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. McGraw Hill. México.
- Meyhuay, Magno. (2013). Quinua: Operaciones de poscosecha. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Monroy, Jaime Eliecer y Granados, Julián Alberto. (2012). Diseño y construcción de una máquina despulpadora semi-automática para piña. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Mecatrónico. Programa de Ingeniería Mecatrónica. Universidad San Buenaventura. Bogotá.
- Nieto, Carlos y Soria, Marcelo (1991). Procesamiento de Quinua en Ecuador 3P-85-0213. Informe final de Labores. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
- Nieto, Carlos y Vimos, Carlos. (1992). La quinua, cosecha y poscosecha, algunas experiencias en Ecuador. Boletín Divulgativo No. 224. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ecuador.
- Olivera, Margarita; Ferreyra, Verónica; Giacomino, Silvia; Curia, Ana; Pellegrino, Néstor; Fournier, Martín y Apro, Nicolás. (2012). Desarrollo de barras de cereales nutritivas y efecto del procesado en la calidad proteica. Revista Chilena de Nutrición. 39 (3): pp. 18- 25.
- Ortiz, Edgar José y Tirado, Ronald Julián. (2005). Diseño y construcción de una trituradora de mandíbulas de excéntrica elevada. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ciencias Físico – Mecánicas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- PCE Instruments. (2010). Balanzas industriales. PCE Ibérica. Recuperado el 25 de julio de: <http://www.pce-iberica.es/Catalogo/catalogo-balanzas-industriales.pdf>
- Pinto, Carlos Humberto y Durán, Hernán. (2006). Diseño, modelamiento y simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales. Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica. Universidad de la Salle.

- Rubino, Guillermo. (2014). Pasteurizadores de leche. Principios básicos para su correcto diseño, uso y mantenimiento. Ministerio de Industria. Presidencia de la Nación. Argentina.
- Saget, Pascal (2010). Lavadoras. La Parmentiere. Francia.
- Santacruz, Edgar y Suárez, Jesús. (2007). Diseño y modelamiento de una máquina dosificadora y empacadora de frutas deshidratadas. Proyecto para optar el título de Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica. Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica, Bogotá.
- Selvanegra. (2016). La historia de Otto Kuhl (Revolucionó el beneficio del café en Nicaragua). Recuperado el 16 de julio de 2016 de: <http://www.selvanegra.com/de/Resort-OttoKuhl.html>
- Shafiur, M. (2007): Handbook of Food Preservation. CRC Press. Boca Ratón.
- Singh, Paul y Heldman, Dennis. (2009). Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza.
- Termopan. (2006). Hornos Túnel para el pan de cada día. Cinta-Red y Piedra. España. Recuperado el 16 de julio de 2016 de: <http://www.termopan.net/~termopan/catalogos/catalogo%20cinta-red.pdf>
- Tirira, Lenin Mauricio y Castro, Diego Orlando. (2014). Diseño y construcción de una máquina despulpadora de frutas. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico. Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- Tecni Pac. (2016). Llenadora de líquidos Modelo M-61. Tec0078. Grupo Empac. México.
- Thor. (2016). Maquinaria de Empaque. Empacadora de vacío. Industrias Ovelma. Medellín.
- Tscheuschner, Horst Dieter. (2001). Fundamentos de Tecnología de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza.
- Universidad de Buenos Aires. (2015). Trituración. Recuperado el 29 de julio de 2016 de: http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracion.pdf
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2004). Procesos de Separación I. Laboratorio de Ingeniería Química. Facultad de Química. UNAM. México.

- Varzakas, Theodoros y Tzia, Constantina. (2015). Food Engineering Handbook. Food Process Engineering. CRC Press. Boca Raton. Florida.
- Wiesheu. (2011). Horno de panadería de aire caliente EUROMAT E2. Manual de instrucciones original. Wiesheu GmbH. Alemania.
- Zambrano, Carlos Mario. (2007). Estudio de factibilidad para el montaje de una planta despulpadora de lulo, tomate de árbol y mango en el municipio de El Molino (La Guajira). Especialización en Gerencia de Proyectos en Ingeniería. Universidad de la Salle. Bogotá.
- Zapata, Emiliano. (2010). Lavadora tipo Inmersión. Maquinaria JERSA. México.

7. Evaluación de las condiciones de proceso para la obtención de una bebida de mango (*Mangifera indica* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)

*Nidia Casas Forero
Yury Natalia Salgado*

7.1 Introducción

El mango (*Mangifera indica* L) es la fruta comercial de mayor disponibilidad en países de la región tropical de América. En Colombia se producen alrededor de 318.628 año, siendo Cundinamarca, Tolima, Magdalena, Antioquia y Atlántico los principales departamentos productores (Agronet, 2016). Esta fruta es muy apetecible, debido a sus agradables características sensoriales, pues es una fuente importante de fibra, vitaminas y compuestos bioactivos con actividad antioxidante como la vitamina C, vitamina E, polifenoles y carotenos (Sumaya-Martínez et al., 2012). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es un pseudocereal de la región Andina; en Colombia se produce en promedio 2.800 en los departamentos de Nariño, Cauca, Boyacá y Cundinamarca. La quinua tiene alto valor nutricional, relacionado principalmente por su contenido de vitaminas, minerales, proteínas (13,81 – 21,90%) con una buena digestibilidad y un perfil equilibrado de aminoácidos (Repo-Carrasco et al., 2003). La quinua es uno de los pocos alimentos de origen vegetal que es nutricionalmente

completo, ya que presenta un adecuado balance de proteínas, carbohidratos y minerales, necesarios para la vida humana (Villacrés et al., 2011).

El proceso de malteado o germinado de los granos se utiliza como una alternativa interesante para aumentar el contenido de energía y de los nutrientes, debido a que este proceso ayuda en el desdoblamiento de los nutrientes como el almidón, las proteínas y grasas mediante enzimas, y obtener de esta manera un alimento más digerible, lo cual permite mejorar la palatabilidad de los granos y la funcionalidad de los cereales (Mäkinen et al., 2016).

Las tendencias en el desarrollo de productos alimenticios se enmarcan actualmente en dar respuesta a las problemáticas relacionadas con la inadecuada alimentación, las cuales están generando gran preocupación, por tanto, la industria alimentaria viene buscando alternativas que permitan obtener productos más benéficos para la salud. En este sentido, se ha venido incorporando mezclas de granos andinos como quinua, amaranto, chía y frutas para obtención de productos con alto valor nutricional como las bebidas. Dentro de estos se tienen la obtención de bebida de alto contenido proteico a partir de algarrobo, lupino y quinoa para la dieta de preescolares (Cerezal et al., 2012), bebida a base de quinua y mango (Sarmiento & Salgado, 2014), bebida instantánea a base de semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus*) y su uso potencial en la alimentación humana (Arcila et al., 2007).

Las propiedades reológicas han sido consideradas como una herramienta analítica que arroja información de la organización estructural de los alimentos; estas propiedades tienen varias aplicaciones en el desarrollo de los productos, como la definición de las condiciones de procesamiento y de equipos, evaluación de la calidad y la comprensión estructural del producto y de sus materias primas (Manjunatha & Raju, 2013). Varios factores afectan este comportamiento reológico en los productos a base de frutas, como la temperatura, la concentración de sólidos solubles totales y el tamaño de partícula (Ortega et al., 2015). Numerosos modelos reológicos se utilizan para describir el comportamiento de flujo de los alimentos, tales como el modelo newtoniano, la ley de potencia, Bingham, Casson y los modelos de Herschel-Bulkey (Ortega et al., 2015; Quek et al., 2013). Las características de flujo de muchos zumos de frutas, pulpas y otros alimentos líquidos son reportados como comportamientos no newtonianos, este comportamiento

no newtoniano se puede atribuir a la presencia de sustancias de alto peso molecular en solución o a los sólidos dispersos en una fase fluida (Singh & Eipeson, 2000).

El objetivo de este capítulo es mostrar el desarrollo de una bebida con aporte de proteína a base de mango y quinua, determinando las propiedades fisicoquímicas, de composición y reológicas de las bebidas resultantes con diferentes niveles de mango y quinua con y sin proceso de germinación.

7.2 Materiales y métodos

Adquisición de materia prima

La quinua utilizada fue de la variedad Dulce Púrpura, producida en Tenjo (Cundinamarca) y adquirida a través de la empresa ASOQUINUA TENJANA Ltda. Fue empacada en bolsa hermética y almacenada a temperatura ambiente hasta su procesamiento. El mango Tommy Atkins, producido en La Mesa (Cundinamarca) fue adquirido a través de las asociaciones ASOFRUTEQ Y ASOMEFRUT, almacenado en canastillas a temperatura ambiente, verificando que estuvieran en buen estado.

Obtención del grano de quinua germinado

La quinua adquirida fue seleccionada realizando tamizado para retirar pajillas, granos partidos, cascarillas y granos enteros, luego fue lavada manualmente con agua a temperatura ambiente con una relación quinua: agua 1:1,2, realizando 3 repeticiones cada 4 minutos. Posteriormente, los granos fueron remojados agregando agua con una relación quinua: agua de 1:1,5 a temperatura ambiente durante 4 horas. Una vez remojados los granos, fueron llevados a germinar en bandejas de aluminio a una temperatura de 25 °C en incubadora durante 21 horas (Figura 1). Finalmente, con el fin de detener la actividad enzimática, los granos germinados se extendieron uniformemente en bandejas de aluminio para ser secados a una temperatura de 60 °C durante 5 horas.



Figura 1. Quinoa germinada y sin germinar

Obtención de la bebida

La bebida fue obtenida a partir de la mezcla de pulpa de mango variedad Tommy Atkins y un extracto obtenido a partir de quinua variedad Dulce Púrpura, malteada y sin maltear, de acuerdo con las formulaciones de la Tabla 1. Posteriormente, la bebida fue pasteurizada a 85 °C durante 15 segundos y almacenada en envases de vidrio de 250 mL a 4 °C.

Tabla 1. Formulaciones de las bebidas de mango y quinua.

Ingrediente	Porcentaje (%) en la formulación			
	Quinoa sin maltear		Quinoa malteada	
	B1	B2	B3	B4
Extracto de quinua	62	41	62	41
Pulpa de mango	35	45	36	46
Sacarosa	3	2	2	1
Agua	-	12	-	12

Una vez obtenidas las bebidas, se realizaron las siguientes pruebas para evaluar la calidad del producto.

Análisis fisicoquímicos

Determinación de pH. Se tomaron 50 ml de cada una de las muestras de la bebida a analizar y se midió el valor del pH utilizando un pH-Meter CG

818 Schottgerate (Medidor de pH universal para laboratorios HI 422x-02) (932.12/90 AOAC).

Determinación del porcentaje de acidez. A una muestra de 10 ml de cada bebida a analizar, se adicionaron 3 gotas de fenolftaleína y se tituló con hidróxido de sodio al 0,1 N. (942.15/90 AOAC). El porcentaje de acidez se calculó empleando la siguiente formula:

$$\% \text{ acidez} = \frac{\text{Miliequivalente} + \text{ml NaOH} + 0,1N + 100}{\text{Vol muestra}}$$

Determinación de sólidos solubles totales. Se tomó una gota de cada bebida a analizar, colocándola en el prisma del refractómetro manual con una escala de 0 a 32 °Brix (981.12/90 AOAC).

Determinación de color. El color se midió a través del colorímetro Konica Minolta-Chroma Meter CR-400, tomando una muestra de 8 ml de cada bebida empacada en bolsas ziplock de 5x5 cm, midiendo las coordenadas: L* (+ negro,-blanco), a* (+rojo,-verde), b* (+ amarillo,-azul), C* (croma), que representa la saturación del color el cual varía de opaco (bajo valor) a vivo (alto valor) y h* que define el tipo de color (colorimetría).

Análisis reológico. Las medidas reológicas se realizaron a una muestra de 250 mL de bebida utilizando un viscosímetro Brookfield 2036 con aguja N° 3. Se midió la viscosidad aparente variando la velocidad rotacional en forma ascendente y descendente (0,5; 1; 2; 2,5; 4; 5; 10; 20; 50; 100 rpm), para determinar la existencia o no de tixotropía. Los resultados experimentales se ajustaron a los modelos de la ley de potencia, determinando los parámetros reológicos de índice de consistencia (K) y comportamiento al flujo (n), siendo σ , el esfuerzo de corte (Pa) y la velocidad de cizalla (s^{-1}) (Método Brookfield).

Análisis nutricional

Porcentaje de proteína. El porcentaje de proteína se determinó empleando el método Kjeldahl.

Análisis sensorial. La evaluación sensorial se realizó con cuatro paneles diferentes, de 40 jueces cada uno, evaluando los atributos de calidad de las bebidas en sus diferentes formulaciones, con el fin de obtener la muestra de mayor aceptación. En esta prueba se tuvo en cuenta parámetros de evaluación como; el color, olor, sabor y viscosidad, en una escala de 1 a 10, siendo 1 la calificación más baja y 10 la más alta.

Análisis estadístico de los datos. Los datos obtenidos se expresarán en términos de media \pm desviación estándar. Los datos se analizaron mediante un análisis de la varianza – ANOVA con un nivel de confianza del 95%, y una prueba de diferencia de medias Tukey, empleando el software Statgraphics XVII-X64.

7.3 Análisis de resultados

En la Tabla 1 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las bebidas de mango y quinua, en los que se puede observar que no hay un efecto significativo de las formulaciones en el comportamiento de los parámetros evaluados. Los resultados de pH evidencian que las bebidas elaboradas a partir del extracto de quinua sin maltear alcanzaron un pH promedio de 4,63, estando este por debajo en un 1,49% del reportado para las bebidas elaboradas a partir del extracto de quinua malteado. De acuerdo con el estudio realizado por Colcha (2013), este incremento se debe a que la quinua malteada tiene valores de pH cercanos a 6,5, por tanto, entre mayor pH tenga la quinua mayor será el pH de la bebida.

Tabla 2. Resultados de análisis fisicoquímicos

Parámetro de calidad	Bebida mango:quinuasin maltear		Bebida mango:quinua malteada	
	B1	B2	B3	B4
pH	4,71 \pm 0,51 ^a	4,56 \pm 0,37 ^a	4,75 \pm 0,24 ^a	4,65 \pm 0,28 ^a
% Acidez	0,08 \pm 0,04 ^a	0,11 \pm 0,04 ^a	0,09 \pm 0,03 ^a	0,11 \pm 0,01 ^a
°Brix	9,20 \pm 0,20 ^a	8,90 \pm 0,10 ^a	9,00 \pm 0,00 ^a	9,20 \pm 0,20 ^a

En relación al porcentaje de acidez, se observa que las bebidas B1 y B3 presentan un valor promedio de acidez de 0,09, mientras que las bebidas B2 y

B4 presentan un rango promedio de 0,11, lo cual se relaciona con la cantidad de mango en cada formulación, ya que las bebidas B2 y B4 contienen mayor porcentaje de pulpa comparadas con las bebidas B1 y B3. Así mismo, se evidencia que las bebidas B3 y B4 elaboradas a partir del extracto de quinua malteado, presentan un incremento de 4,85% compara con las bebidas B1 y B2, las cuales fueron elaboradas a partir del extracto de quinua sin maltear. Según Asworth et al. (1992), este incremento puede deberse a que durante la germinación se produce el desdoblamiento de nutrientes como almidón, proteína y grasas mediante la acción de enzimas, lo cual se relaciona con la liberación de ácidos grasos y minerales.

Respecto a los valores de sólidos solubles totales, los cuales indican que las bebidas B1 y B2 elaboradas a partir del extracto de quinua sin maltear, se encuentran en un rango promedio de 9,1, siendo el mismo para las bebidas B3 y B4, las cuales fueron elaboradas a partir del extracto de quinua malteada. Así mismo, se evidencia que las bebidas B2 y B4 elaboradas con mayor porcentaje de pulpa y las bebidas B1 y B3 con menor contenido de pulpa, tienen un rango promedio de 9,1, lo cual demuestra que no hay diferencia significativa por efecto del tipo de extracto de quinua utilizado, ni por la cantidad de mango presente en cada bebida. Reportes teóricos indican valores de °Brix entre 11,3 y 14,17 (Casas et al., 2016; Colcha, 2013), esto muestra que las bebidas estudiadas tienen valores inferiores, siendo este un factor positivo al incluirlo en la dieta, pues al tener menor contenido de azúcares contribuye a una alimentación baja en calorías.

Para la coordenada L*, los resultados obtenidos se presentan en la figura 2, donde se evidencia que los valores para las bebidas elaboradas a partir del extracto de quinua sin maltear presentan un promedio de 54,16, estando por debajo en un 0,62% de los reportados para las bebidas elaboradas a partir del extracto de quinua malteado. Esto se relaciona con el proceso de secado de la quinua germinada, ya que las condiciones en esta etapa permitieron que el grano obtuviera un color dorado, logrando que el color de la bebida fuera más luminoso. De acuerdo con Hough J. (1990), la deshidratación prolongada y a bajas temperaturas conduce a una malta clara, con gran parte en su contenido enzimático, mientras que una deshidratación rápida y a temperaturas altas rinde maltas oscuras y deficitarias en actividad enzimática.

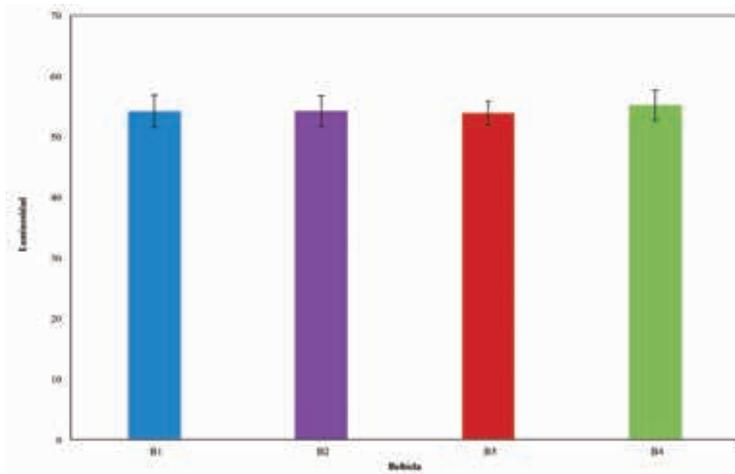


Figura 2. Luminosidad de las bebidas de mango y quinua

Las coordenadas a^* y b^* presentadas en la Figura 3, indican que las bebidas B2 y B3 presentan una coloración más rojiza, debido a que están más cerca al cero, mientras que las bebidas B2 y B4 presentan una coloración más amarilla (valores de b^* más positivos) comparada con las bebidas B1 y B3, la bebida B4 es la que presentó mayor tendencia al tono amarillo, lo cual se relaciona con la cantidad de mango presente en cada formulación, ya que la bebida B4 contiene mayor porcentaje de pulpa. Sin embargo, el análisis estadístico no indicó ninguna diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$). Según

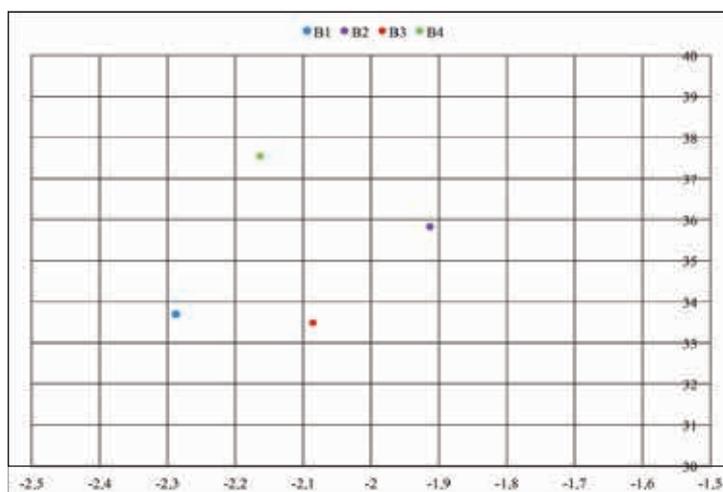


Figura 3. Coordenadas a^* y b^* de las bebidas de mango y quinua

Quintero et al., 2013, los carotenos son pigmentos responsables del color amarillo-naranja del mesocarpo del mango. Este color es un importante parámetro de calidad, pues el consumidor asocia estos colores con el sabor dulce y el aroma característico del fruto maduro.

En la Figura 4 se muestra los reogramas de esfuerzo de corte experimental y el gradiente de velocidad de cizallamiento de las cuatro muestras de bebida de mango y quinua, ajustados utilizando modelo de ley de potencia. Los reogramas muestran curvas cóncavas hacia abajo, lo cual indica que las bebidas corresponden a un fluido no newtoniano, con un comportamiento pseudoplástico. En relación a las formulaciones, se puede observar que las muestras con mayor contenido de mango (B2 y B4) requieren de mayor esfuerzo de cizalla frente a las muestras con menor contenido de mango (B1 y B3), para una misma velocidad de deformación. Así mismo, el incorporar en la bebida extracto de quinua malteado influye en que el producto tenga un menor esfuerzo y, por ende, una menor viscosidad, haciendo de este un producto con un mayor nivel de fluidez.

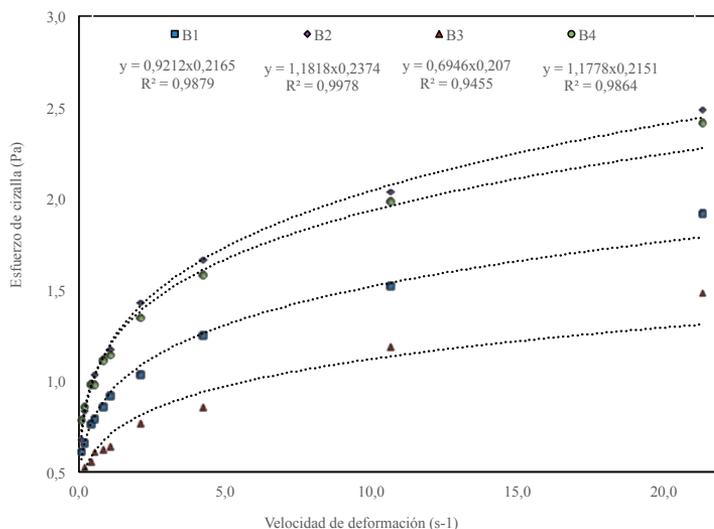


Figura 4. Reograma de las bebidas de mango y quinua a las cuatro formulaciones

Los valores de los dos parámetros reológicos, coeficiente de consistencia (K) y el índice de comportamiento de flujo (n) obtenidos a partir del ajuste, teniendo en cuenta el modelo de la ley de potencia, se muestran en la Figura 4.

Todos los valores de índice de comportamiento de flujo fueron menores que 1 ($n < 1$), lo cual corrobora que el flujo tiene un comportamiento pseudoplástico. En promedio los valores están en el rango de 0.208 y 0.227, los cuales están acordes con los valores reportados Ortega et al. (2015) y Dak et al. (2007) para pulpas y jugos de mango. Los valores de índice de consistencia ratifican lo indicado en relación al efecto de la cantidad de mango y del extracto de quinua malteada en la viscosidad de la bebida, pues el índice de consistencia para las bebidas con mayor contenido de mango son 31% mayores que los estimados para las bebidas con menor contenido de mango.

En la Figura 5 se muestra el comportamiento de la viscosidad aparente, la cual disminuye a medida que aumenta la velocidad de cizalla. Este comportamiento es propio de un fluido no newtoniano de características pseudoplásticas. Se debe a la restructuración espacial o alineamiento de las moléculas en el seno de la pulpa por influencia de la cantidad de movimiento impartida por el agitador mecánico (Ortega et al., 2015).

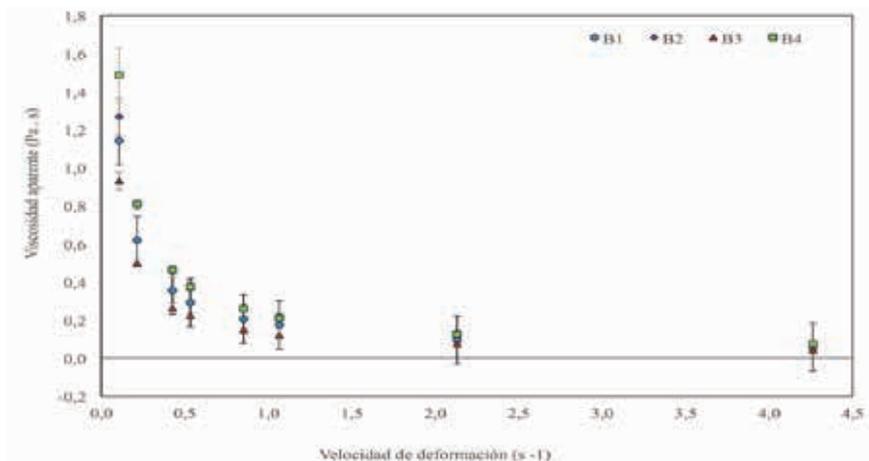


Figura 5. Viscosidad aparente frente a la velocidad de cizalla

El análisis estadístico mostró que no hay diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) entre los datos de viscosidad aparente de ascenso y descenso para las cuatro bebidas, lo cual indica que no se presenta tixotropía. Esto coincide con lo indicado por Ortega et al. (2015), quienes indican que se presenta tixotropía en jugos de frutas concentrados con sólidos solubles totales mayores de 55 °Brix.

En la Figura 6 se presentan los resultados de proteína de las bebidas elaboradas a partir del extracto de quinua malteado y sin maltear, donde se evidencia que los valores de proteína para las bebidas B1 y B3, que contienen mayor cantidad de extracto de quinua, son mayores en un 14,08% de los reportados para las bebidas B2 y B4. Esto indica que el porcentaje de proteína varía de acuerdo a la cantidad de extracto de quinua presente en cada bebida. Teniendo en cuenta los valores de proteína del grano de quinua, se presenta una reducción considerable con respecto a los valores reportados inicialmente, esto se debe a que durante la elaboración de las bebidas se realizó la separación de las materias solubles del extracto durante la filtración, eliminándose gran parte de los principales componentes del grano. Así mismo, se evidencia que esta bebida aporta 1,35 g proteína en una presentación de 250 ml de bebida, que equivale a un 2,7% de la ingesta diaria requerida.

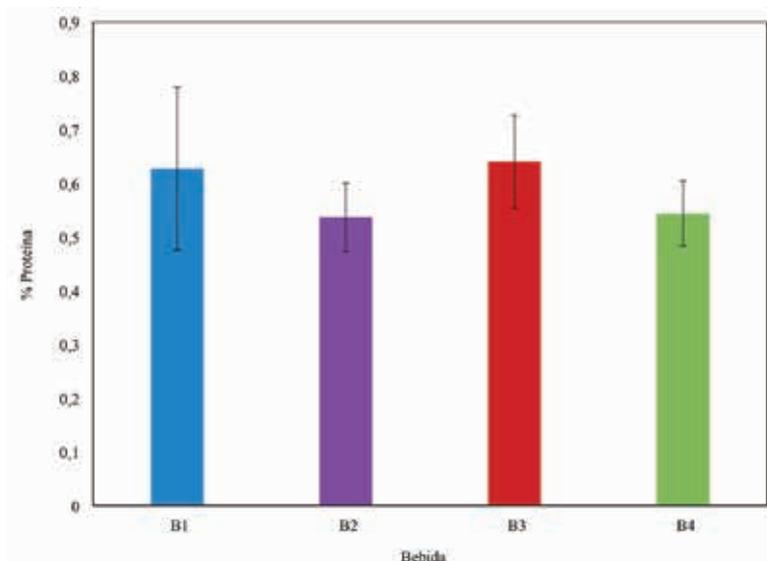


Figura 6. % de proteína de las bebidas de mango y quinua

Los resultados obtenidos en la evaluación sensorial, presentados en la Tabla 3, indican que las bebidas con mayor aceptación son B2 y B4, siendo la bebida B4 la más aceptada en todos los atributos evaluados, estando por encima en un 1,51% de los reportados para la bebida B2. Lo anterior se relaciona con la cantidad de mango, ya que en su formulación es la bebida que presenta el mayor porcentaje de pulpa, permitiendo resaltar principalmente su sabor y viscosidad. Respecto a las bebidas B1 y B3, se evidencia que hay una menor

aceptación por parte de los panelistas, presentando un diferencia de 8,18%, comparadas con las bebidas B2 y B4, siendo la bebida B3 la de menor aceptación.

Tabla 3. Promedio de los datos obtenidos en la evaluación sensorial

Atributo	B1	B2	B3	B4
Color	7,54 ± 0,36	8,31 ± 0,31	7,58 ± 0,34	8,58 ± 0,23
Olor	6,98 ± 0,25	7,20 ± 0,36	6,62 ± 0,40	7,29 ± 0,25
Sabor	7,03 ± 0,64	7,68 ± 0,75	6,67 ± 0,54	7,78 ± 0,46
Viscosidad	7,62 ± 0,44	7,96 ± 0,30	7,61 ± 0,24	7,99 ± 0,16

7.4 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó que las bebidas elaboradas con el extracto de quinua malteado cambian fisicoquímicamente, permitiendo que su color sea más luminoso y que los valores de pH y porcentaje de acidez sean más altos. Así mismo, se establece que las bebidas obtenidas a partir de mango y quinua malteada y sin maltear, se comportan como un fluido no newtoniano pseudoplástico, el cual se representa por el modelo de ley de potencia, obteniéndose coeficientes de correlación mayores de 0,94, y valores promedio de índice de comportamiento de flujo (n) entre 0,208 y 0,227; y para el índice de consistencia (K) valores entre 0,76 y 1,23. En relación al análisis sensorial no se evidencian cambios por efecto del proceso de malteado pero sí por la cantidad de mango en la formulación.

Referencias

- Arcila, N., & Mendoza, Y. 2006. Elaboración de una bebida instantánea a base de semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus*) y su uso potencial en la alimentación humana. Revista de la Facultad de Agronomía, 23(1), pp. 114-124.
- Ashworth A., and Draper A, 1992. The potential of traditional technologies for increasing the energy density of weaning foods. A critical review of existing knowledge with particular reference to malting and fermentation. United Kingdom.

- Casas, N., Salgado, Y., Moncayo, D., Cote, S. 2016. Efecto del proceso de malteado en la calidad y estabilidad de una bebida de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) y mango (*Mangifera indica*). *Agroindustrial Science*, 6(1), pp. 77-83.
- Cerezal Mezquita, P., Acosta Barrientos, E., Rojas Valdivia, G., Romero Palacios, N., & Arcos Zavala, R. 2012. Desarrollo de una bebida de alto contenido proteico a partir de algarrobo, lupino y quinoa para la dieta de preescolares. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), pp. 232-243.
- Colcha, M. 2013. Elaboración y Control de Calidad de una Bebida Nutritiva a Base de Malteado de Quinoa, Leche y Zanahoria Deshidratada. (Tesis de grado previa a la obtención del título de Bioquímico Farmacéutico). Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Dak, M., R.C. Verma and S.N.A. Jaaffrey, 2007. Effect of temperature and concentration on rheological properties of “Kesar” mango juice. *J. Food Eng.* 80(4), 1011-1015. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.08.011.
- Hough, J.S. (1990). *Biología de la cerveza y de la malta*. (1ª ed.). Zaragoza, España: Acribia, S.A.
- Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., & Arendt, E. K. 2016. Foods for Special Dietary Needs: Non-dairy Plant-based Milk Substitutes and Fermented Dairy-type Products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(3), pp. 339-349.
- Manjunatha, S.S. and P.S. Raju. 2013. Modelling the Rheological behaviour of tender coconut (*Cocos nucifera* L) water and its concentrates. *Int Food Res J.* 20, pp. 731-743.
- Ortega, F., E.S. Galván, R. Rivero, y R. Gallo. 2015. Efecto de la temperatura y concentración sobre las propiedades reológicas de la pulpa de mango variedad Tommy Atkins. *Revista ION*, 28(2), 79 – 92. Doi: <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v28n2-2015007>.
- Quek, M.C., N.L. Chin, and Y.A. Yusof. 2013. Modelling of rheological behaviour of soursop juice concentrates using shear rate–temperature–concentration superposition. *J. Food Eng.* 118, 380–386. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.04.025.
- Quintero, V., Giraldo, G., Lucas, J., y Vasco, J. 2013. Caracterización fisicoquímica del mango común (*Mangifera Indica* L.) durante su proceso de maduración. *Revista Bio Agro* Vol. 11. No. 1.
- Repo-Carrasco R, C. Espinoza, and S. Jacobsen. 2003. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Rev Int.* 19(1), 179 – 189. Doi: 10.1081/FRI-120018884.

- Sarmiento, E. & Salgado, N. (2015). Efecto del malteado del grano de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) en la elaboración y estabilidad de una bebida a base de mango y quinua. (Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero de Alimentos). Fundación Universitaria Agraria de Colombia – Uniagraria. Colombia.
- Singh, N.I., and W.E. Eipeson. 2000. Rheological behaviour of clarified mango juice concentrates. *J Texture Stud* 31, 287–295. Doi: 10.1111/j.1745-4603.2000.tb00291.x.
- Sumaya-Martínez, M., L. Sánchez, G. Torres, y D. García. 2012. Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 30, pp. 826- 833.
- Villacrés, E., E. Peralta, L. Egas, y N. Mazón. 2011. *Boletín Divulgativo* No 146. INIAP. p. 34.

8. Evaluación de la elaboración de un snack de mango (*Mangifera indica* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)

Nidia Casas Forero
Noralda Díaz Espíndola

8.1 Introducción

El mango (*Mangifera indica* L) es la fruta comercial de mayor disponibilidad en países de la región tropical de América. Es muy apetecible debido a sus agradables características sensoriales, siendo una fuente importante de fibra, vitaminas y compuestos bioactivos con actividad antioxidante como la vitamina C, vitamina E, polifenoles y carotenos (Sumaya et al., 2012). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es un pseudocereal de la región Andina, con alto contenido de vitaminas, minerales y proteínas (13,81 – 21,9%), y con una buena digestibilidad y un perfil equilibrado de aminoácidos (FAO, 2011; Repo-Carrasco et al., 2003). La quinua es uno de los pocos alimentos de origen vegetal que es nutricionalmente completo, es decir, que presenta un adecuado balance de proteínas, carbohidratos y minerales, necesarios para la vida humana. El valor proteico de un alimento se mide con base en dos factores: el balance de los aminoácidos y el contenido de los llamados aminoácidos esenciales. La quinua sobresale en estos dos factores, pues contiene 16 de los 24 aminoácidos existentes (Villacrés et al. 2011). Es por esta razón que los investigadores se han interesado en transformar el grano de quinua en múltiples productos para la industria alimentaria con el fin de

aprovechar sus bondades nutricionales y permitir a los consumidores una alimentación sana.

Actualmente, los consumidores buscan productos que se enmarquen dentro de las tendencias de consumo; en las cuales los snacks pueden ser una alternativa, ya que estos apuntan a dar respuesta en temas como variedad sensorial, nutricional, bienestar y practicidad. Dentro de este campo de los snacks, varios son los autores que han desarrollado productos a base de quinua; por ejemplo un snack nutritivo utilizando 70% de harina de quinua y 30% de harina de maíz y una cobertura dulce, empleando la tecnología de extrusión (Repo-Carrasco et al., 2011). Otro ejemplo es un extruido que contienen amaranto, quinua y kañiwa, el cual es un producto sin gluten, dando respuesta a un mercado en crecimiento, el de los celíacos (Díaz et al., 2013). Taverna et al. (2012) evaluaron el efecto de la temperatura de extrusión, la velocidad del tornillo, la humedad y la cantidad de harina de quinua en las propiedades físicas de aperitivos, encontrando que este tipo de productos que se puede obtener en las condiciones de 10% de harina de quinua 250 rpm de velocidad del tornillo, la temperatura de 100 °C y humedad del 15%.

Otra forma de obtener snacks es empleando la tecnología de fritura. Villamizar et al. (2011) realizaron la comparación de la tecnología de fritura al vacío y la atmosférica en la obtención de pasabocas de mango, encontrando que el proceso al vacío genera mejores características sensoriales fisicoquímicas y nutricionales que el proceso a presión atmosférica. Por su parte Villamizar & Giraldo (2010) buscaron obtener un pasabocas a partir de una pasta a base de mango mediante fritura por inmersión, encontrando que se puede obtener un snacks a partir de la formación, con un cilindro de 4 cm de diámetro y 2 mm de espesor, de una mezcla de puré de mango y harina de trigo refrigerado por 48 °C, y freído a 175 °C y 30 s de tiempo de inmersión.

Como se evidencia hay diferentes tecnologías para la obtención de snacks, pero se debe buscar mantener el valor nutricional de sus materias primas o potencializarlas al hacer mezclas que generen un buen sabor y alto aporte de nutrientes en la dieta como son fibra y proteína, por tanto, el objetivo de este capítulo es evaluar el cambio en las características fisicoquímicas y nutricionales en la obtención de un snacks empleando la tecnología de horneado y variando la proporciones de harina de trigo, quinua y mango.

8.2 Materiales y métodos

Adquisición de materia prima

Se empleó harina de quinua perteneciente a la variedad Dulce Purpura, producida en Tenjo (Cundinamarca), adquirida a través de la empresa ASOQUINUA TENJANA Ltda., empacada en bolsa hermética y almacenada a temperatura ambiente hasta su procesamiento. El mango variedad Tommy Atkins empleado para la obtención de harina y de pulpa fue adquirido en La Mesa (Cundinamarca) a través de la asociación ASOFRUTEQ y ASOMEFRUT, almacenado a temperatura ambiente, verificando que estuvieran en buen estado, maduros, sin manchas, plagas, hendiduras o lesiones producidas por insectos.

Obtención de harina de mango

El mango fue lavado y desinfectado a temperatura ambiente, se retiró la cáscara y se troceó la pulpa obteniendo láminas de mango de aproximadamente 1 cm de espesor; las láminas obtenidas se colocaron en bandejas de secado para ser deshidratadas a una temperatura de 65 °C por un tiempo de 25 horas (Figura 1), transcurrido este tiempo se realizó la molienda y tamizado para obtener una harina con un tamaño de partícula uniforme.



Figura 1. Imágenes del proceso de obtención de la harina de mango

Obtención del snack

Se elaboraron 5 formulaciones de snack, variando el porcentaje de harina de quinua, harina de mango y pulpa de mango, según se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Formulaciones del snack de mango y quinua

Ingrediente	Porcentaje (%) en la formulación				
	F1	F2	F3	F4	F5
Harina de trigo	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Harina de quinua	15,0	16,0	20,0	21,0	25,1
Harina de pulpa de mango	25,1	23,9	20,1	18,9	15,0
Ingredientes húmedos: leche y mantequilla. Ingredientes secos: azúcar, polvo para hornear, sal.	37,9	37,9	37,9	37,9	37,9

Los ingredientes secos previamente pesados se mezclan en un recipiente, se adiciona poco a poco la leche y pulpa de mango amasando suavemente, la masa se deja reposar por 15 min a temperatura ambiente y se procede a realizar laminado hasta alcanzar un espesor de 1 mm, se porciona y se hornea en latas previamente engrasadas por 6,5 minutos en un horno precalentando a 170 °C, se retiran del equipo y se dejan enfriar a temperatura ambiente (Figura 2). Después de obtenidos los snacks se realizaron las respectivas pruebas de calidad.



Figura 2. Imágenes del proceso de obtención de los snacks

Análisis fisicoquímicos

Determinación de humedad. Se determinó el porcentaje de humedad pesando 5 gramos de muestra, y secado en estufa a 70 °C por 24 horas (930.15/90

AOAC), el contenido de humedad se calculó por diferencia de peso empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100\%$$

Determinación de A_w . Mediante el empleo del equipo de laboratorio Hygro-Palm-HP23-AW-A se evaluaron muestras de snack, colocando en un porta muestras de 40 mm de diámetro tomando las lecturas del equipo conforme se hacía la lectura (978.18/06 AOAC).

Determinación de textura. Se determinó midiendo la fuerza de ruptura utilizando el analizador de textura Bookfield CT3, a una distancia de penetración 2 mm, trigger 5,0 g y velocidad de carga 5 mm/s.

Determinación de color. El color fue medido a través del colorímetro Konica Minolta-Chroma Meter CR-400 tomando una muestra de snack, midiendo las coordenadas: L^* (+negro, -blanco), a^* (+rojo, -verde), b^* (+amarillo, -azul).

Determinación de índice de peróxidos. Se determinó a partir de la grasa extraída del snack, mediante titulación con tiosulfato de sodio 0,01N según método NTC 236 (NTC 236).

Análisis nutricional

Porcentaje de proteína. El porcentaje de proteína se determinó empleando el método Kjeldahl (método Kjeldahl).

Porcentaje de materia grasa. Se realizó mediante extracción Soxhlet, pesando 5 g de muestra en papel filtro y 50 ml de éter de petróleo, se realizó extracción por 3 horas. Posteriormente, se secaron los balones recolectores en estufa a 100 °C por 1,5 horas y se determinó el porcentaje mediante la fórmula:

$$\text{Extracto Materia Grasa} = \frac{\text{Masa}_{\text{Balón Vacío}} - \text{Masa}_{\text{Balón+grasa}}}{\text{Masa muestra analizada}} \times 100$$

Análisis sensorial. El análisis sensorial se realizó en tres nichos de mercado, con un panel de 40 consumidores, quienes evaluaron los atributos de calidad en el snack para cada una de las formulaciones. Los atributos evaluados fueron olor, color, sabor, crocancia, apariencia general, utilizando una escala de evaluación de 1 a 9, siendo 1 la calificación más baja y 9 la más alta.

Análisis estadístico de los datos. Los datos obtenidos se expresarán en términos de media \pm desviación estándar. Los datos se analizaron mediante un análisis de la varianza - ANOVA con un nivel de confianza del 95%, y una prueba de diferencia de medias Tukey, empleando el software Statgraphics XVII-X64.

8.3 Análisis de resultados

En la Figura 3 se muestran los resultados de humedad para el snack de mango y quinua después del proceso de horneado, en el que se observa que los snacks correspondientes a la formulación F2 son los que presentan mayor porcentaje de humedad. Este valor está relacionado con el porcentaje de composición en ingredientes húmedos como leche, que aporta menor contenido de sólidos con respecto a las formulaciones que contienen ingredientes húmedos como pulpa de mango en combinación con leche; sin embargo, el análisis estadístico no arroja diferencia ($p \leq 0,05$).

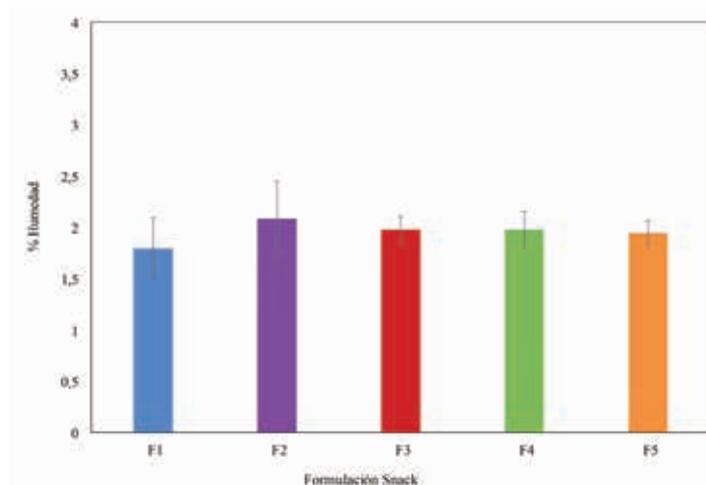


Figura 3. Contenido de humedad para las cinco formulaciones de snacks

Las formulaciones F1, F3, F4 y F5 presentan características similares al tener en su composición pulpa de mango y leche como agentes aglutinantes. Los snacks de mango y quinua pueden clasificarse como un extruido y, por tanto, ajustarse a lo establecido en la norma técnica colombiana NTC 3659 para productos extruidos, la cual indica una humedad menor a 6% para productos extruidos de dulce y menor a 4% para extruidos de sal. De acuerdo a la norma y comparando los valores obtenidos para el snack de mango y quinua, este se encuentra dentro del rango establecido siendo su valor promedio 1,91%, este valor coincide además con lo reportado por Espín (2010) para grits de maíz con valores de humedad entre 1 y 2%, y un snack extruido dulce con valor de 4,1%. La humedad reportada permite tener condiciones apropiadas para favorecer la estabilidad del snack durante el almacenamiento.

La actividad de agua es probablemente el parámetro más importante en el campo de la conservación de alimentos, pues es un indicador del agua disponible para el crecimiento microbiano en los alimentos y, por tanto, de su velocidad de deterioro (Chirife, 2013). De acuerdo con Revelo (2010), para productos tipo snack, la A_w debe tener valores por debajo de 0,5, estas condiciones permiten ayudar a reducir crecimiento microbiano y favorece la estabilidad durante el almacenamiento. Los valores reportados para los snacks de mango y quinua están por debajo de 0,35 (Figura 4), siendo la formulación F3 el que presentó un valor más bajo con respecto a la demás formulaciones, esto debido a su contenido en harina de pulpa y pulpa de mango que aportan mayor cantidad de sólidos al snack, y en comparación con datos reportados para galletas de azúcar libres de gluten tiene un valor de 0,263 (Inglett et al., 2015).

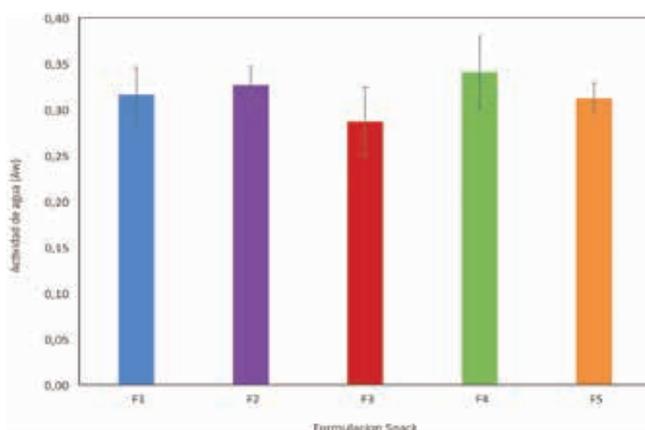


Figura 4. Comportamiento de la actividad de agua para las cinco formulaciones de snacks

Las características que más influyen sobre la textura de un producto son el contenido de agua, estado físico de los componentes y la composición química, es decir, el contenido de almidón, proteína y grasa (Revelo, 2010), debido al bajo contenido de humedad de los snacks de mango y quinua. Estos presentan una textura con un buen nivel fractura y crocancia. En la Figura 5 se muestran los resultados de textura de los snacks, donde las formulaciones F1, F3 y F5 presentan mejor textura con valores más altos de fuerza de ruptura debido al menor contenido de agua y al mayor contenido de sólidos aportados principalmente por harina y pulpa de mango. Inglett et al. (2016) reportan valores que oscilan entre 5340 y 8840gf para galletas de amaranto y avena, dureza causada por la interacción de las proteínas y el almidón debido a los enlaces de hidrógeno; por tanto, el snack presenta menor dureza al ser un producto laminado con menor grosor y mayor crocancia.

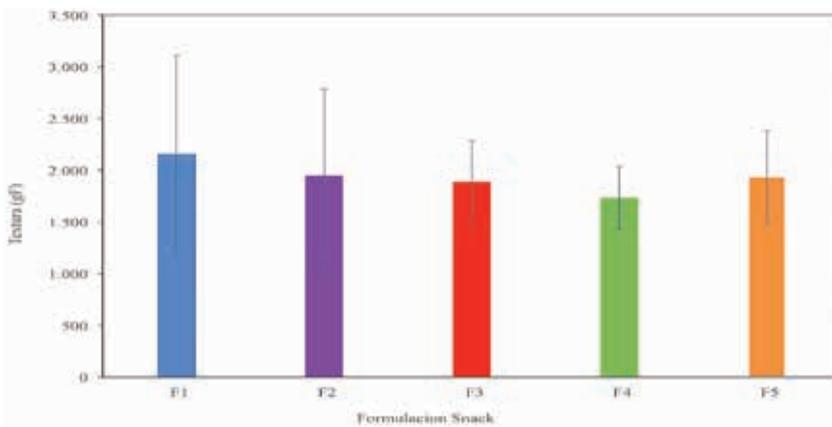


Figura 5. Valores de la fuerza de ruptura para las cinco formulaciones de snacks

Las coordenadas de color L, a* y b* medidas en los snacks se muestran en la Tabla 2, donde se reportan valores de luminosidad alrededor de 60, el cual coincide con el reportado por Inglett et al. (2015) en su estudio para galletas de azúcar sin gluten, elaboradas a partir de compuestos de avena-amaranto con valores que oscilan de 50 a 55. Los valores de luminosidad pueden estar relacionados con reacciones debidas a enzimas como las lipoxigenasas que se presentan durante el horneado, al ser la temperatura quien actúa como acelerador de las reacciones de oxidación (Meléndez, 2004), lo que permite que los azúcares como la lactosa aportado por la leche se caramelicen otorgando al snack color dorado más llamativo.

Tabla 2. Comportamiento de las variables de color para 5 formulaciones de snacks

Formulación Snack	L	a*	b*
F1	64,96 ± 1,06 ^a	6,16 ± 0,32 ^a	44,80 ± 3,08 ^a
F2	64,76 ± 3,08 ^a	6,58 ± 1,46 ^a	42,23 ± 3,04 ^a
F3	64,14 ± 2,19 ^a	6,51 ± 0,75 ^a	43,46 ± 2,26 ^a
F4	66,35 ± 2,28 ^a	5,31 ± 0,91 ^a	41,74 ± 3,40 ^a
F5	64,25 ± 1,88 ^a	5,81 ± 0,82 ^a	41,46 ± 3,44 ^a

Cruz et al. (2016) afirman que el color puede verse afectado por las condiciones de proceso como tiempo, temperatura y características propias del producto como tamaño y composición, y que cualquier cambio por mínimo que sea puede presentar grandes cambios en las características del producto. De acuerdo con esto la formulación de snack de mango y quinua que mantiene mejores características de color corresponde a F2, al presentar una relación entre las coordenadas de color a* (rojos) y b* (amarillos), con mayor tendencia hacia el color amarillo característicos de la pulpa del mango, esto debido a la presencia de harina de mango en mayor proporción frente a F3, F4 y F5, y el uso de leche como único agente aglutinante que aporta color neutro. Esto permite que se resalte en el producto final el color característico de la harina de mango, y además se reduzcan las reacciones de oxidación propias de la pulpa de mango. Debido a estos factores la formulación F1 con mayor contenido harina de mango y agente aglutinante pulpa de mango (16%) y leche (5%), presenta una pérdida de color amarillo y una mayor tendencia hacia colores rojos.

El comportamiento del contenido de grasa se presenta en la Figura 6, donde el snack de mango y quinua presenta valores promedio de 11%. Este valor se encuentra en el rango establecido por la NTC 3659 para extruidos, la cual permite un máximo de 30% en contenido de materia grasa para extruidos de dulce y 50% para extruidos de sal. Similar al reportado por Urbano (2014) para un snack de quinua y remolacha con un porcentaje de grasa de 13,45% y menor al reportado por Cabezas (2010), para una galleta de quinua y guayaba deshidratada con un porcentaje de grasa de promedio de 28%. Este contenido de materia grasa (11%) corresponde a la presencia de ingrediente como mantequilla el cual tiene el mismo porcentaje de aporte en las 5 formulaciones con un 8%, la diferencia de grasa correspondiente al 3%

que se presenta en los snacks, es aportada por la grasa propia de la harina de quinua, harina de trigo, la cuales presentan valores promedio de grasa para harina de quinua de 3,9% (Mosquera, 2009) y para harina de trigo de 3,0% (Zuleta et al, 2012).

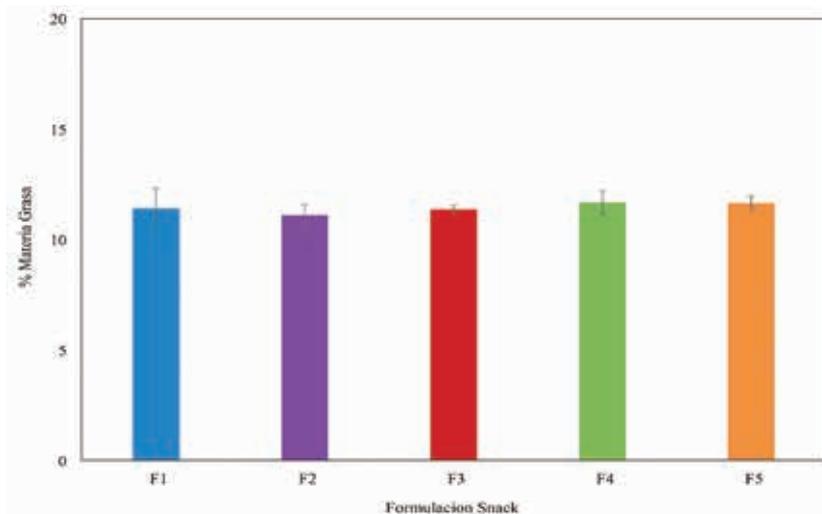


Figura 6. Contenido de materia grasa para las cinco formulaciones de snacks

Los peróxidos son compuestos inestables cuando se someten a altas temperaturas; cuando los valores de actividad de agua son bajos se promueve la autooxidación de las grasas, por tanto, al aumentar el nivel de actividad acuosa se disminuye la velocidad de reacción. Esto debido a la estabilización de hidroperóxidos de los ácidos grasos por los enlaces del hidrógeno con el agua impidiendo la descomposición (Revelo, 2010). De acuerdo a esta afirmación y teniendo en cuenta los resultados obtenidos (Figura 7), los snacks correspondientes a las formulaciones F3 y F5 presentan valores más altos para índice de peróxidos, al presentar menor actividad de agua. Este valor indica un proceso de oxidación mayor para los productos de estas formulaciones y, por tanto, un nivel más alto de envejecimiento de las grasas presentes en el snack. Estos cambios pueden ser atribuidos a mínimas variaciones en composición de ingredientes y que tienen efectos notables en el producto final, sin embargo, el valor más alto reportado para el snack de mango y quinua fue de 2,7 meq O₂/kg, similar al reportado Revelo (2010) en su estudio para

productos extruidos y laminados de quinua con valores que oscilan entre 2 y 7 meq O₂/kg.

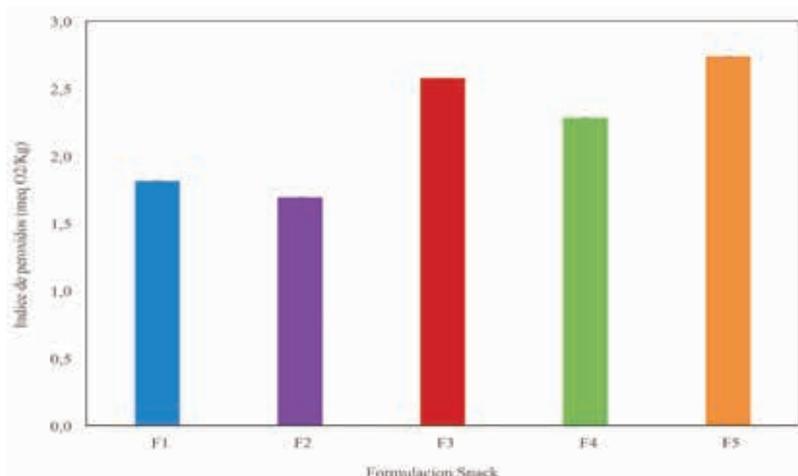


Figura 7. Valor de índice de peróxidos para las cinco formulaciones de snacks

La quinua contiene el número completo de aminoácidos esenciales para la nutrición del ser humano, ya que contiene proteínas de mejor calidad en comparación con otros granos como el maíz, arroz y trigo, siendo el contenido en porcentaje de proteína de 16,5% para quinua, 14,2% para trigo, 10,2% para maíz, 7,6% para arroz (Mosquera, 2009) y 13,94% para harina de quinua variedad dulce purpura (utilizada en la elaboración del snack) según estudios propios realizados. De acuerdo con estos valores el aporte de proteína para los snacks de mango y quinua se ve directamente relacionado con la proporción de harina de quinua utilizada en cada una de las formulaciones, donde la formulación F5 presenta un porcentaje mayor de inclusión de harina de quinua con respecto a las demás formulaciones, presentando, por tanto, un contenido mayor de proteína, siendo este de 10,4 g/100g de producto como se observa en la Figura 8. Estos valores superan en un 2,8% a los valores reportados por Mosquera (2009) para galletas con inclusión de harina de quinua (15%) y harina de trigo (85%), el cual tiene un valor de 7,6 g de proteína/100 g. Esto hace del snack un producto de alto valor nutricional y saludable comparado con productos comerciales similares y que son de gran importancia a la hora de consumir un alimento de este tipo.

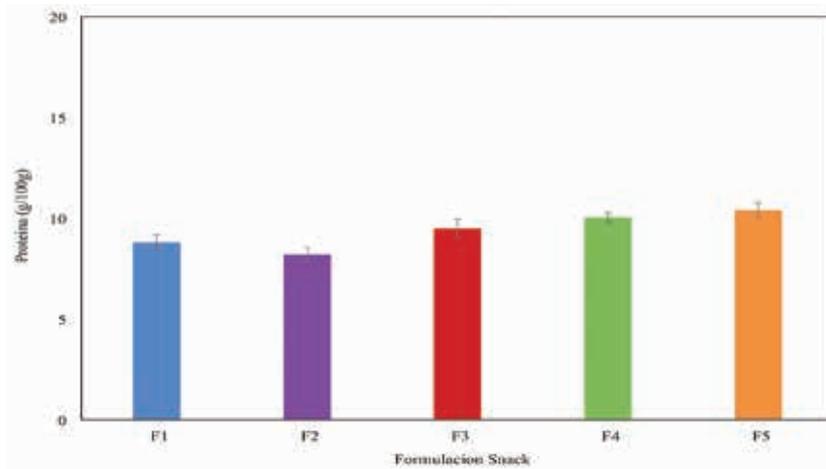


Figura 8. Contenido de proteína para las cinco formulaciones de snacks

La Figura 9 muestra los resultados con respecto a las pruebas sensoriales, encontrándose en promedio valores entre 6 y 8 para todos los atributos evaluados, donde la formulación F2 presenta mejores propiedades de sabor y crocancia con valores promedio de 7,19 y 7,59 respectivamente.

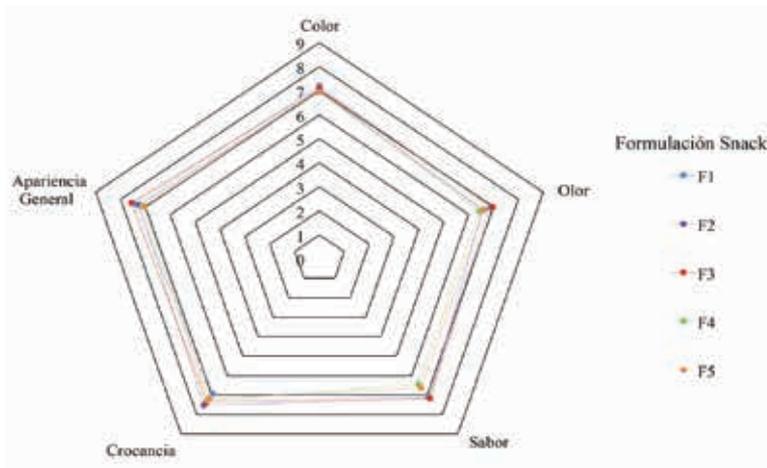


Figura 9. Resultados de la evaluación sensorial para las cinco formulaciones de snacks

La formulación F3 arroja valores muy cercanos a F2 siendo 7,17 y 7,35 para sabor y crocancia. Sin embargo, las 5 formulaciones presentaron similitud en

los valores de sus atributos y de acuerdo a las observaciones de los evaluadores todos los snacks presentan el atributo de sabor marcado en sabores a mango y quinua característicos de las materias primas, factor que favorece la aceptación del producto por parte de los consumidores, sin encontrar una diferencia marcada entre las formulaciones propuestas.

8.4 Conclusiones

De acuerdo a las pruebas de calidad realizadas al snack de mango y quinua se puede concluir que el snack presenta condiciones de humedad y actividad de agua que favorecen su estabilidad en el almacenamiento, y confieren al snack un buen nivel de textura, relacionado principalmente con un alto nivel de crocancia. Así mismo, el snack obtenido presenta un contenido de grasa inferior al de productos similares como extruidos de dulce y sal, grits de maíz y snacks de quinua y remolacha. Igualmente, el producto obtenido tiene un alto contenido de proteína (10,4 g/100 g); por lo cual este tipo de productos puede ser una nueva alternativa para incrementar el consumo de quinua y a su vez ofrecer productos con mayor valor nutricional.

Referencias

- Cabezas, A. (2010). Elaboración y evaluación nutricional de galletas con quinua y guayaba deshidratada (Tesis de pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Cruz, M., García, C., y García, R. (2016). Desarrollo y formulación de un snack nutritivo libre de gluten (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Chirife, J. (2013). Medición de la actividad del agua. Obtenido de http://www.iberfluid.com/consierge/docs/1458_articles_786_Actividad%20del%20agua.pdf
- Díaz, J., Kirjoranta, S., Tenitz, S., Penttilä, P., Serimaa, R., Lampi, A., & Jouppila, K. (2013). Use of amaranth, quinoa and kañiwa in extruded corn-based snacks. *Journal of Cereal Science*, 58(1), pp. 59-67.
- Espín, M. (2010). Diseño de un plan de buenas prácticas de manufactura para la empresa COFICA (Tesis de pregrado). Escuela politécnica nacional, Quito, Ecuador.

- FAO. (2011). La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial [Citado 12 de marzo de 2016]. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinua_es.pdf.
- Inglett, G., Chen, D., & Liu, S. (2015). Physical properties of gluten-free sugar cookies made from amaranth-oat composites. *Food Science and Technology*, 63(2015), pp. 214-220.
- Meléndez, A., Vicario, I., & Heredia, F. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), pp. 209-215.
- Mosquera, H. (2009). Efecto de la inclusión de harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) en la elaboración de galletas (Tesis de especialización). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- NTC 236. (2011). Norma Técnica Colombiana NTC 236. Colombia: ICONTEC.
- NTC 3659. (2006). Norma Técnica Colombiana NTC 3659. Colombia: ICONTEC.
- Repo Carrasco, R., Pilco, J., Encina, R. (2011). Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa*) y maíz (*Zea mays* L.). *Ingeniería Industrial*, 13(29); 209-224.
- Repo-Carrasco R, Espinoza C, Jacobsen S. (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International* 19(1): pp. 179-189
- Revelo, A. (2010). Desarrollo y evaluación de las tecnologías de un snack laminado a partir de quinua. (Tesis de pregrado). Escuela politécnica nacional, Quito, Ecuador.
- Sumaya, T., L. Sánchez, G. Torres y D. García. (2012). Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 30, pp. 826-833.
- Taverna, L., Leonel, M., Mischan, M. (2012). Changes in physical properties of extruded sour cassava starch and quinoa flour blend snacks. *Food Science and Technology (Campinas)*, 32(4), pp. 826-834
- Urbano, L. (2014). Elaboración de snack nutraceuticos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) con remolacha (*Beta vulgaris*) como colorante (Tesis de pregrado). Escuela de Bioquímica y farmacia, Riobamba, Ecuador.

- Villacrés, E., Peralta, E., Egas, L., Mazón, N. (2011). Potencial agroindustrial de la quinua. BOLETÍN Divulgativo No 146. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. p. 34.
- Villamizar, R., Quinceno, M., Giraldo, G. (2011). Comparación de la fritura al vacío y atmosférica en la obtención de pasabocas de mango (*Manguifera indica* L.). *Temas agrarios*, 16(1), pp. 64 – 74.
- Villamizar, R. & Giraldo, G. (2010). Obtención y caracterización de un pasabocas a partir de una pasta a base de mango mediante fritura por inmersión. *Revista Tumbaga*, 5, pp. 149-164.
- Zuleta, A., Binaghi, M., Greco, C., Aguirre, C., De la Casa, L., Tadini, C., y Ronayne, P. (2012). Diseño de panes funcionales a base de harinas no tradicionales. *Revista Chilena de nutrición*, 39(3), pp. 58-64.

