

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ANDINA



TESIS

**CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE TRES PROCESOS
AGROINDUSTRIALES DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd)
ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA Y
DISPONIBILIDAD DE LITIO**

PRESENTADA POR:

ADALIHT JHONY ARISACA PARILLO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGÍSTER SCIENTIAE EN AGRICULTURA ANDINA
ESPECIALIDAD EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

PUNO, PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA

MAESTRÍA EN AGRICULTURA ANDINA

TESIS

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE TRES PROCESOS
AGROINDUSTRIALES DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd)
ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA Y
DISPONIBILIDAD DE LITIO

PRESENTADA POR:

ADALIHT JHONY ARISACA PARILLO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGÍSTER SCIENTIAE EN AGRICULTURA ANDINA

ESPECIALIDAD EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

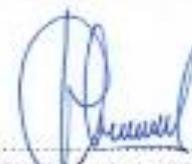
APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE



M.Sc. MANUEL A. CALLOHUANCA PARIAPAZA

PRIMER MIEMBRO



M.Sc. FLORENTINO V. CHOQUEHUANCA CÁCERES

SEGUNDO MIEMBRO



M.Sc. PABLO ANTONIO BELTRÁN BARRIGA

ASESOR DE TESIS



M.Sc. ELIZABETH HUANATICO SUAREZ

Puno, 29 de enero de 2016

ÁREA: Ciencia y tecnología de alimentos

TEMA: Capacidad antioxidante y disponibilidad de Litio en procesos agroindustriales en Quinua

LÍNEA: Físico químico de alimentos

DEDICATORIA

A la memoria de mis abuelos María y Justo.

A mis padres Percy y Sabina Flora, asimismo, a mis abuelos Emilio y Martina con todo mi amor y eterna gratitud, cuyo ejemplo siempre me motiva a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de PosGrado, docentes y administrativos del programa de Maestría en Agricultura Andina, especialidad en Ciencia y Tecnología de Alimentos, por la formación recibida en sus aulas que hicieron posible culminar con éxito el presente trabajo de investigación.
- A mis asesores de tesis M.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez y Dr. Vladimiro Ibañez Quispe por su invaluable asesoramiento en la ejecución del presente trabajo de investigación.
- A los miembros del jurado por sus comentarios y aportes realizados que contribuyeron al enriquecimiento del presente estudio.
- A la Ing. María Fernanda Rosales, Directora General de UDA Laboratorios de la Universidad del Azuay Ecuador, por su apoyo, facilidades y predisposición brindada durante los análisis de laboratorio.
- A mis compañeros y amigos del programa de Maestría, en especial a Pilar por su apoyo y sugerencias en mejora del trabajo de investigación.
- Finalmente, con todo mi amor a mis padres Sabina Flora y Percy, quienes me apoyaron a ejecutar la presente investigación, de la misma forma a mis abuelos Emilio y Martina por su apoyo moral y orientaciones.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	3
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	
2.1 QUINUA.....	6
2.1.1 Origen y distribución.....	6
2.1.2 Características botánicas.....	8
2.1.3 Características del grano de quinua.....	9
2.1.4 Taxonomía.....	12
2.1.5 Variedades de quinua.....	13
a). INIA 420 Negra Collana.....	15

2.1.6	Ecotipos de quinua.....	16
	a). Ayara.....	19
2.1.7	Composición química de la quinua.....	20
2.1.8	Factores antinutricionales de la quinua.....	24
2.1.9	Propiedades funcionales de la quinua.....	25
2.1.10	Uso de la quinua en la agroindustria.....	27
2.2	ANTIOXIDANTES.....	28
2.2.1	Aspectos generales.....	28
2.2.2	Tipos de antioxidantes.....	29
	a). Antioxidantes sintéticos.....	29
	b). Antioxidantes naturales.....	30
2.2.3	Capacidad antioxidante.....	31
2.2.4	Medición de los antioxidantes.....	33
2.2.5	Mecanismo de acción de los antioxidantes.....	35
2.2.6	Cambios en la capacidad antioxidante sometida a tratamiento térmico.....	36
2.2.7	Uso de antioxidantes en la agroindustria.....	37
2.3	LITIO.....	39
2.3.1	Historia.....	39
2.3.2	Características generales.....	40
2.3.3	Mecanismos de acción y farmacocinética.....	42
2.3.4	Usos de litio en la industria.....	46
2.3.5	Disponibilidad de litio.....	47
2.3.6	Deficiencia e impacto toxicológico del litio.....	53

2.4 PROCESOS AGROINDUSTRIALES DE LA QUINUA.....	58
2.4.1 Desaponificado.....	58
Quinua perlada.....	59
2.4.2 Molienda.....	60
Harina de quinua.....	61
2.4.3 Extruido.....	62
Quinua extruida.....	63

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ÁMBITO O LUGAR DE ESTUDIO.....	65
3.2 MATERIA PRIMA.....	66
3.3 EQUIPOS Y MATERIALES.....	66
3.3.1 Maquinarias, equipos e instrumentos utilizados en el procesamiento.....	66
3.3.2 Equipos y material instrumental utilizados para análisis fisicoquímico.....	66
3.3.3 Reactivos para determinar la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio.....	67
3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	68
3.4.1 Determinación de la capacidad antioxidante DPPH.....	68
3.4.2 Determinación de litio.....	69
3.4.3 Análisis fisicoquímico.....	70
Determinación de humedad.....	70
Determinación de ceniza.....	71

Determinación de proteína total.....	71
Determinación de grasa total.....	72
Determinación de fibra cruda.....	73
Determinación de carbohidratos.....	74
Determinación de acidez total.....	74
Determinación de pH.....	75
3.5 METODOLOGÍA.....	76
3.5.1 Capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en la quinua perlada y harina de quinua.....	76
Quinua perlada.....	76
Harina de quinua.....	78
3.5.2 Efecto de la temperatura y humedad en la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio para la quinua extruida.....	80
3.5.3 Características fisicoquímicas de la quinua en tres procesos agroindustriales.....	82
3.6 DISEÑO ESTADÍSTICO.....	83
3.6.1 Capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en la quinua perlada y harina de quinua.....	83
3.6.2 Efecto de la temperatura y humedad en la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio para la quinua extruida.....	84
3.6.3 Características fisicoquímicas de la quinua en tres procesos agroindustriales.....	86
3.7 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	86

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y DISPONIBILIDAD DE LITIO EN LA QUINUA PERLADA Y HARINA DE QUINUA.....	88
4.1.1 Capacidad antioxidante.....	88
Quinua perlada.....	88
Harina de quinua.....	90
4.1.2 Disponibilidad de litio.....	92
Quinua perlada.....	92
Harina de quinua.....	93
4.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y DISPONIBILIDAD DE LITIO PARA LA QUINUA EXTRUIDA.....	95
4.2.1 Efecto de la temperatura y humedad en la capacidad antioxidante.....	95
4.2.2 Efecto de la temperatura y humedad en la disponibilidad de litio.....	98
4.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA QUINUA EN TRES PROCESOS AGROINDUSTRIALES.....	102
4.3.1 Quinua perlada.....	102
4.3.2 Harina de quinua.....	108
4.3.3 Quinua extruida.....	110
CONCLUSIONES.....	116
RECOMENDACIONES.....	118
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXOS.....	136

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1 Características de la semilla de algunas variedades de quinua.....	14
2 Principales características morfológicas y agronómicas de la quinua INIA 420 Negra Collana.....	15
3 Composición química de la quinua.....	23
4 Contenido de vitaminas en el grano de quinua.....	23
5 Composición química de la quinua variedad INIA 420 Negra Collana.....	24
6 Capacidad antioxidante de algunos alimentos.....	32
7 Clasificación de los modelos de ensayo.....	34
8 Matriz de diseño experimental para el extruido.....	85
9 Diseño experimental para los tres procesos agroindustriales.....	87
10 Capacidad antioxidante de quinua perlada, Ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	89
11 Capacidad antioxidante de harina de quinua Ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	91
12 Disponibilidad de litio en quinua perlada Ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	92
13 Disponibilidad de litio en harina de quinua Ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	94
14 Capacidad antioxidante de quinua extruida Ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	95
15 Disponibilidad de litio en quinua extruida Ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	99

16	Análisis fisicoquímico de quinua perlada ecotipo Ayara.....	103
17	Análisis fisicoquímico de quinua perlada variedad INIA 420 Negra Collana.....	105
18	Análisis fisicoquímico de harina de quinua ecotipo Ayara.....	108
19	Análisis fisicoquímico de harina variedad INIA 420 Negra Collana.....	109
20	Análisis fisicoquímico de quinua extruida ecotipo Ayara (Tratamiento 3).....	111
21	Análisis fisicoquímico de quinua extruida Variedad INIA 420 Negra Collana (Tratamiento 8).....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1 Distribución de las áreas de cultivo de quinua en Sudamérica.....	8
2 Estructura anatómica del grano de quinua.....	12
3 Cambios en la actividad antioxidante de una matriz vegetal sometida a calentamiento.....	37
4 Flujo experimental para la obtención de quinua perlada.....	77
5 Flujo experimental para la obtención de harina de quinua.....	79
6 Flujo experimental para la obtención de quinua extruida.....	81
7 Efecto del perlado, molienda y extruido en la capacidad antioxidante de la quinua ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	97
8 Efecto del perlado, molienda y extruido en la disponibilidad de litio de la quinua ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	100
9 Efecto del perlado, molienda y extruido en el contenido proteico de la quinua ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	114
10 Efecto del perlado, molienda y extruido en el contenido de humedad de la quinua ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	115

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1 Prueba t-Student para la capacidad antioxidante de la quinua perlada.....	138
2 Prueba t-Student para la capacidad antioxidante de la harina de quinua.....	139
3 Prueba t-Student para la disponibilidad de litio en la quinua perlada.....	140
4 Prueba t-Student para la disponibilidad de litio en la harina de quinua.....	141
5 ANOVA de capacidad antioxidante de la quinua extruida....	142
6 ANOVA de disponibilidad de litio en la quinua extruida.....	142
7 Análisis de varianza para la humedad en la quinua perlada ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	143
8 Análisis de varianza para la ceniza en la quinua perlada ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	143
9 Análisis de varianza para la proteína en la quinua perlada ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	143
10 Análisis de varianza para la grasa en la quinua perlada ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	144
11 Análisis de varianza para la fibra en la quinua perlada ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	144
12 Análisis de varianza para la carbohidratos en la quinua perlada ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	145
13 Análisis de varianza para la energía en la quinua perlada ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	145
14 Análisis de varianza para la acidez en la quinua perlada ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	145
15 Análisis de varianza para pH en la quinua perlada ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	146

16	Análisis de varianza para la humedad en el proceso de molienda ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	146
17	Análisis de varianza para la ceniza en el proceso de molienda ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	147
18	Análisis de varianza para la proteína en el proceso de molienda ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	147
19	Análisis de varianza para la grasa en el proceso de molienda ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	147
20	Análisis de varianza para la fibra en el proceso de molienda ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	148
21	Análisis de varianza para carbohidratos en el proceso de molienda ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	148
22	Análisis de varianza para energía en el proceso de molienda ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	149
23	Análisis de varianza para acidez en el proceso de molienda ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	149
24	Análisis de varianza para pH en el proceso de molienda ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	149
25	Análisis de varianza para la humedad en el proceso de extruido ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	150
26	Análisis de varianza para la ceniza en el proceso de extruido ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	150
27	Análisis de varianza para la proteína en el proceso de extruido ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	151

28	Análisis de varianza para la grasa en el proceso de extruido ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	151
29	Análisis de varianza para la fibra en el proceso de extruido ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	151
30	Análisis de varianza para carbohidratos en el proceso de extruido ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	152
31	Análisis de varianza para energía en el proceso de extruido ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	152
32	Análisis de varianza para acidez en el proceso de extruido ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	153
33	Análisis de varianza para pH en el proceso de extruido ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.....	153
34	Contenido de cenizas en tres procesos agroindustriales.....	154
35	Contenido de lípidos en tres procesos agroindustriales.....	154
36	Contenido de fibra en tres procesos agroindustriales.....	155
37	Contenido de carbohidratos en tres procesos agroindustriales.....	155
38	Contenido de acidez en tres procesos agroindustriales.....	156
39	Contenido de pH en tres procesos agroindustriales.....	156

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la ciudad de Puno, y laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano Puno y Universidad del Azuay Ecuador, el objetivo fue determinar la capacidad antioxidante (CA), disponibilidad de litio (DL) y sus características fisicoquímicas en los procesos agroindustriales de perlado, molienda y extruido (temperatura 150°C y 160°C, y humedad 12% y 14%) en la quinua ecotipo Ayara (EA) y variedad INIA 420 Negra Collana (NC), ambos de color negro. Los resultados obtenidos en la capacidad antioxidante después del proceso de perlado indican que el EA (1560ug/ml DPPH) es mayor a la NC (1056ug/ml DPPH), en la molienda el EA presentó 1946ug/ml DPPH y la NC 1939ug/ml DPPH, no encontrándose diferencia estadística significativa ($\alpha=0.05$). Al evaluar el efecto de la temperatura y humedad en el extruido, el EA presentó valores entre 3077ug/ml DPPH (T1-150°C/12%h) y 3603ug/ml DPPH (T3-160°C/12%h), y la NC entre 3173ug/ml DPPH (T6-150°C/14%h) a 3518ug/ml DPPH (T8-160°C/14%h). En cuanto a la disponibilidad de litio en el perlado, el EA (2.0245 ppm) fue superior a la NC (1.4886 ppm); de igual forma en la molienda el EA presentó 3.0130 ppm, respecto a la NC con 1.5339 ppm, en ambos procesos se encontró una diferencia estadística significativa; en el extruido el EA presentó valores entre 3.6193 ppm (T1-150°C/12%h) y 5.7647 ppm (T3-160°C/12%h), mientras que la NC osciló entre 2.3735 ppm (T7-160°C/12%h) y 5.3381 ppm (T8-160°C/14%h). Las características fisicoquímicas durante los tres procesos presentaron valores más altos en la NC que el EA, en referencia a la proteína. El estudio demostró la presencia de litio y antioxidantes en el EA y NC, y que a mayor nivel de transformación la CA, DL y características fisicoquímicas, se incrementan, principalmente debido al almacenamiento prolongado, fraccionamiento del grano, reacción de Maillard, litio en el agua, y relación inversa de humedad.

Palabras clave: Ayara, Capacidad antioxidante, extruido, litio, molienda, Negra Collana, perlado, quinua.

ABSTRACT

The research was conducted in Puno city, and laboratories of the Universidad Nacional del Altiplano Puno and Universidad del Azuay Ecuador, The aim was to determine the antioxidant capacity (CA), lithium availability (DL) and its physicochemical characteristics in the agroindustrial processes of pearling, grinding and extruded (temperature 150 ° C and 160 ° C, humidity 12% and 14%) in the quinoa ecotype Ayara (EA) and variety INIA 420 Negra Collana (NC), both black. The results obtained in the antioxidant capacity after the pearling process indicate that the EA (1560ug / ml DPPH) is higher than the NC (1056ug / ml DPPH), In the grinding the EA had 1946ug / ml DPPH and the NC 1939ug / ml DPPH, with no statistically significant difference ($\alpha = 0.05$). When evaluating the effect of temperature and humidity on the extruded, the EA presented values between 3077ug / ml DPPH (T1-150 ° C / 12% h) and 3603ug / ml DPPH (T3-160 ° C / 12% h), and NC between 3173ug / ml DPPH (T6-150 ° C / 14% h) at 3518ug / ml DPPH (T8-160 ° C / 14% h). In relation to the availability of lithium in the pearling, the EA (2.0245 ppm) was superior to the NC (1.4886 ppm); in the same way in the grinding the EA presented 3.0130 ppm, with respect to the NC with 1.5339 ppm, in both processes a significant statistical difference was found; in the extruded the EA presented values between 3.6193 ppm (T1-150 ° C / 12% h) and 5.7647 ppm (T3-160 ° C / 12% h), while NC ranged from 2.3735 ppm (T7-160 ° C / 12% h) to 5.3381 ppm (T8-160 ° C / 14% h). The physicochemical characteristics during the three processes presented higher values in the NC than the EA, in reference to the protein. The study demonstrated presence of lithium and antioxidants in the EA and NC, and that to a higher level of transformation the CA, DL and physicochemical characteristics, are increased, mainly due to prolonged storage, grain fractionation, Maillard reaction, lithium in water, and inverse moisture relation.

Keyword: Ayara, Antioxidant capacity, extruded, lithium, grinding, Negra Collana, pearling, quinoa.

INTRODUCCIÓN

En el año 2013, la quinua ha sido declarada por la Food and Agriculture Organization de las Naciones Unidas como un recurso natural alimentario de alto valor nutritivo de origen andino, en reconocimiento a los pueblos andinos que han mantenido, controlado, protegido y preservado la quinua como un alimento para generaciones presentes y futuras. Estos conocimientos tradicionales por parte de los agricultores andinos han permitido preservar innumerables parientes silvestres de la quinua, debidamente conocidos y utilizados por ellos, ya que cada especie y ecotipo es empleada en forma diferenciada en la alimentación, medicina, ritual y en la transformación, pero desconocida para la comunidad científica en cuanto a sus posibles beneficios para la agroindustria, nutrición y salud.

Por otra parte, el Instituto Nacional de Innovación Agraria de un tiempo a esta parte, ha puesto a disposición de los productores agrarios a nivel nacional siete variedades de quinua mejorados que corresponde a la demanda tecnológica de las regiones productoras del país, en cuanto a rendimiento, calidad de grano, resistencia a enfermedades, plagas, así como cualidades agroindustriales. De las ya conocidas la Variedad INIA 420 Negra Collana es una de las últimas en ser liberada, esta variedad fue obtenida debido a la creciente demanda para exportación de quinuas de color, sin importar el tamaño, principalmente por sus características nutricionales, que hasta la fecha no han sido estudiadas completamente.

Por estas razones, el presente trabajo de investigación, constituye un punto de partida para el conocimiento científico, respecto a la disponibilidad de litio y

capacidad antioxidante de la quinua ecotipo Ayara y Variedad INIA 420 Negra Collana, además de conocer sus características fisicoquímicas, comportamiento en el procesamiento y su uso adecuado en la agroindustria.

Sin lugar a duda, la quinua es, y seguirá siendo para el Perú y el Mundo, una fuente inagotable para la investigación científica; al estudiarla, se estará contribuyendo al conocimiento más certero, y por ende a la mejora de la dieta alimentaria de nuestro poblador rural y urbano, a base de un cultivo que cada día nos sorprende más a propios y extraños.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Hoy en día, se ha incrementado el interés de las industrias dedicadas a la transformación de alimentos en el uso de productos cada vez más naturales, con altos valores nutricionales y funcionales, es decir alimentos que además de nutrirnos, tengan la capacidad de prevenir enfermedades como las cardiovasculares, obesidad, cáncer, estrés, depresión, entre otros, que en la actualidad se vienen incrementando y son causa del crecimiento de las tasas de mortalidad, y disminución de la longevidad del hombre.

Para atenuar esta situación, los componentes que han cobrado importancia en la última década son los antioxidantes, ya que se cree, son esencialmente importantes para el organismo debido a su capacidad de proteger a las macromoléculas biológicas contra el daño oxidativo, bloqueando el efecto perjudicial en los radicales libres, jugando un rol importante en la prevención y tratamiento de las enfermedades antes mencionadas. La gran mayoría de antioxidantes se encuentra en los alimentos vegetales.

Por otra parte, los problemas de salud mental (estrés, ansiedad y depresión) en estos últimos años muestra un incremento acelerado, representando el 8% del total de la pérdida de años de calidad de vida, de tal forma que para las personas entre 15 y 44 años que viven en países con economías desarrolladas, las enfermedades neuropsiquiátricas ocupan el 12 % del total de enfermedades (Santolaya *et al.*, 2009).

Las previsiones de la Organización Mundial de la Salud estiman que para el año 2020 la depresión se constituirá en la tercera causa de mortalidad al lado de las enfermedades coronarias y los accidentes de tráfico y como la primera causa de incapacidad (Santolaya *et al.*, 2009). Por ello, no es raro encontrar en la composición de los fármacos el litio, para la terapia de estas enfermedades. Además, recientes investigaciones han demostrado que las dosis bajas de litio preservan y renuevan las células del cerebro, aumentando la materia gris de un 3 % después de sólo 4 semanas, mejorando la replicación del ADN, que es el primer paso para la formación de células nuevas.

Se cree que la quinua negra posee en gran cuantía este oligoelemento (Litio), quizás sea por esta razón que a lo largo del tiempo la quinua negra ha sido utilizada como parte de rituales fúnebres en la elaboración de panes tradicionales, ya que actúan como un ansiolítico o tranquilizante menor que ayuda a la relajación y alivio de la melancolía y otros trastornos psiquiátricos como la depresión, así como inhibir el insomnio y la tristeza.

Estas creencias y conocimientos respecto al contenido de litio en la quinua han sido transmitidos hasta la actualidad, pero han sido poco estudiados y no se conoce con certeza el contenido de este mineral en la

quinua, el cual imposibilita realizar un manejo adecuado en su procesamiento y aplicabilidad industrial. En relación a la capacidad antioxidante, hasta la fecha se han realizado investigaciones en pocas variedades y otros granos andinos, pero se desconoce en el ecotipo Ayara y la variedad INIA 420 Negra Collana, que nos permitiría ver su potencial, para su conservación, transformación y aplicación en la ingeniería de alimentos, medicina y nutrición.

Por tales razones expuestas en los párrafos anteriores se planteó los siguientes objetivos:

Determinar la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en la quinua perlada y harina de quinua: Ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.

Evaluar el efecto de la temperatura y humedad en la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en la quinua extruida: Ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.

Determinar las características fisicoquímicas de la quinua: Ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana después de proceso de perlado, molienda y extruido.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 QUINUA

2.1.1 Origen y distribución

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), ha sido descrita por primera vez en sus aspectos botánicos por Willdenow en 1778, como una especie nativa de Sudamérica (Cárdenas, 1944) siendo su mayor distribución de formas y diversidad de genotipos y de progenitores silvestres, en los alrededores del lago Titicaca, zona de mayor diversidad y variación genética (Mujica *et al.*, 2001a; Mujica, 1992).

Heisser y Nelson en 1974, indican hallazgos arqueológicos en Perú y Argentina alrededor del inicio de la era cristiana, mientras que Bollaerd y Latcham, citados por Cardenas (1944), también hallaron semillas de quinua en tumbas indígenas de Tarapacá, Calama, Tiltel y Quillagua, demostrando este hecho que su cultivo es de tiempo remoto.

La quinua es uno de los cultivos más antiguos de la región Andina, con aproximadamente 7 000 años de cultivo, en cuya domesticación y conservación han participado grandes culturas como la Tiahunacota y la Incaica (Jacobsen,

2003). Específicamente, la domesticación se da en la región del Altiplano circundante al Lago Titicaca, siendo actualmente esta zona centro de diversidad del cultivo (Fleming y Galwey, 1995).

Según Tapia *et al.* (1980), el origen de la quinua no está aún bien determinada, mientras que Gandarillas (1979), citado por Bonifacio (2006), afirma, que la quinua se originó mediante el cruzamiento natural entre dos especies silvestres por un proceso de poliploidización, en la que el hombre andino ha participado seleccionando las plantas de grano blanco y de tamaño grande en comparación a las silvestres que son de grano negro y pequeño.

La distribución geográfica de la quinua en toda la región Andina se presenta desde Colombia (Pasto), hasta el norte de Argentina (Jujuy y Salta) y Chile (Antofagasta y Concepción), extendiéndose desde los 5° Latitud Norte al sur de Colombia, hasta los 43° Latitud Sur en la Décima Región de Chile, y su distribución altitudinal varía desde el nivel del mar hasta los 4 000 m.s.n.m. en el Altiplano que comparten Bolivia y Perú (Barriga *et al.* 1994; Rojas, 1998; Lescano, 1994).

Las mayores áreas de cultivo están en el Perú y Bolivia, y su mayor desarrollo está en las zonas de Puna alta, quechua, en Puno y Cusco (Blanco y Ortiz, 2003).

La quinua recibió la mayor dedicación y apoyo principalmente en Ecuador, Perú y Bolivia, y siendo las zonas donde se encuentra la mayor variabilidad genética (Lescano, 1989). Como resultado de las investigaciones de países andinos y revaloración del conocimiento campesino de cada zona agroecológica, en la actualidad se tienen clasificados quinuas y su

agrobiodiversidad, según sus características de adaptación, crianza, origen y algunas morfologías de alta heredabilidad, fácilmente detectables y capaces de mantener en toda el área de difusión. Los cinco grupos mayores o categorías básicas, son: Las quinuas de valles interandinos, quinuas del Altiplano, quinuas de salares o terrenos salinos, quinuas de nivel del mar y quinuas sub tropicales o de los yungas (Rojas *et al*, 2010a; Lescano, 1989; Tapia *et al*, 1980). Por su parte Gandarillas (1968), citado por Bonifacio (2006), agrupó a la quinua en razas, designando 18 razas, según las zonas de producción y rasgos morfológicos.

FIGURA 1

DISTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS DE CULTIVO DE QUINUA EN SUDAMÉRICA



Fuente: Tapia (2012).

2.1.2 Características botánicas

La quinua es una planta anual, dicotiledónea, herbácea, cuyo periodo vegetativo varía de 150 a 240 días (Repo-Carrasco, 1998), y alcanza una altura

de 0.8 a 3 metros, que se adapta en suelos y climas variables, desde 2 000 a los 3 900 m.s.n.m. (Blanco y Ortiz, 2003). Las plantas pueden presentar diversos colores que van desde verde, morado a rojo y colores intermedios entre estos (Mujica, 1992).

La raíz es pivotante con muchas ramificaciones y muy fibrosa. Cuando la raíz está totalmente desarrollada puede alcanzar hasta 1.50 m. de profundidad según los tipos de suelos (Tapia y Fries, 2007). El tallo principal puede ser ramificado o no, depende del ecotipo, raza, densidad de siembra y de las condiciones del medio en que se cultiven, es de sección circular en la zona cercana a la raíz, transformándose en angular a la altura de las ramas y hojas. Es más frecuente el hábito ramificado en las razas cultivadas en los valles interandinos del sur del Perú y Bolivia, en cambio el hábito simple se observa en pocas razas cultivadas en el Altiplano y en buena parte de las razas del centro norte del Perú y Ecuador (Mujica, 1992).

Las flores son muy pequeñas y densas, lo cual hacen difícil la emasculación, se ubican en grupos formando glomérulos, son sésiles, de la misma coloración que los sépalos y pueden ser hermafroditas, pistiladas o androestériles. Los estambres, que son cinco, poseen filamentos cortos que sostienen anteras basifijas y se encuentran rodeando el ovario, cuyo estilo se caracteriza por tener 2 ó 3 estigmas plumosas (Lescano, 1994; Mujica, 1992).

2.1.3 Características del grano de quinua

Según Gandarillas (1982), citado por Bonifacio (2006), la quinua presenta variación en las características de grano, pudiendo encontrar grano de tamaño grande, mediano y pequeño.

El fruto de la quinua es un aquenio y no una cariósida como el cereal, que fue mal llamado pseudo cereal en la década del 50 por el botánico Hunziker (Canahua y Mujica, 2013; Tapia y Fries, 2007). El aquenio se deriva de un ovario supero unilocular y de simetría dorsiventral, tiene un cilindro lenticular, levemente ensanchado hacia el centro (Gallardo *et al.*, 1997). El fruto está cubierto por completo por el perigonio, y contiene una sola semilla, de coloración variable, con un diámetro de 1,5 a 4 mm, la cual se desprende con facilidad a la madurez, cuando está seco, y en algunos casos puede permanecer adherido al grano incluso después de la trilla dificultando la selección (Tapia y Fries, 2007; Gallardo *et al.*, 1997; Gandarillas, 1982, citado por Bonifacio, 2006), Asimismo, presenta dos capas internas: episperma exterior y perisperma interior que difícilmente se separan del grano o fruto (Tapia y Fries, 2007).

El fruto maduro sin el perigonio, es de forma lenticular, elipsoidal o cónica o esferoidal, presenta tres partes bien definidas que son: episperma, embrión y perisperma. El tamaño de la semilla puede ser entre 1.5 – 2.6 mm de diámetro dependiendo de la variedad, como de su color (Rojas, 2003; Mujica, 1993).

La episperma que envuelve al grano está constituida por cuatro capas: una externa de superficie rugosa, quebradiza, la cual se desprende fácilmente con agua y al frotarla, en ella se ubica la saponina, cuya adherencia a la semilla es variable con los genotipos (Tapia, 1990; Villacorta y Talavera, 1976). La segunda capa es muy delgada y lisa, se observa sólo cuando la capa externa es translúcida; la tercera capa es de coloración amarillenta, delgada y opaca y la cuarta es translúcida, constituida por un solo estrato de células (Villacorta y

Talavera, 1976). El epispermo, cubre el perisperma almidonoso (Gandarillas, 1982, citado por Bonifacio, 2006).

El embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula, constituye el 30 % del volumen total de la semilla el cual envuelve al perisperma como un anillo, con una curvatura de 320 grados, es de color amarillento mide 3.54 mm de longitud y 0.36 mm de ancho (Carrillo, 1992), en algunos casos alcanza una longitud de 8.2 mm de longitud y ocupa el 34 % de toda la semilla y con cierta frecuencia se encuentran tres cotiledones (Gallardo *et al.*, 1997), la radícula, muestra una pigmentación de color castaño oscuro.

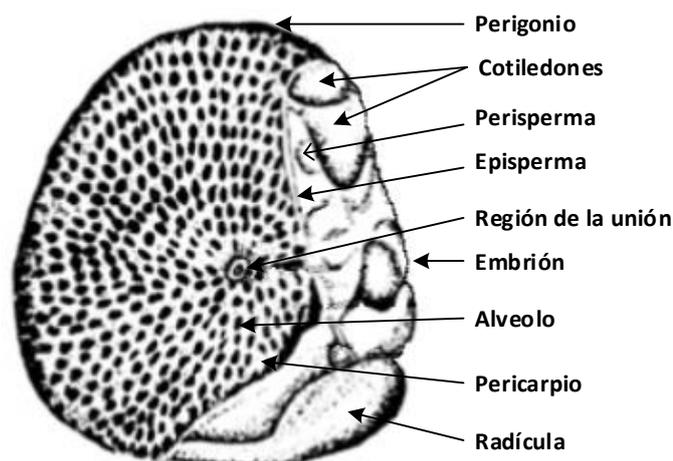
El perisperma, es el principal tejido de almacenamiento y está constituido mayormente por granos de almidón, es de color blanquecino y representa prácticamente el 60 % de la superficie de la semilla, sus células son grandes de mayor tamaño que las del endosperma, de forma poligonal con paredes delgadas, rectas y con grandes agregados de almidón, estos agregados están compuestos por miles de gránulos de almidón individuales, de forma hexagonal en la mayoría de los casos (Mujica *et al.* 2001a).

Según Varriano y De Francisco (1984), citado por Mujica *et al.* (2006), indican que una vez que la quinua es cosechada, el fruto cae de la planta encerrado en el perianto. Las células débiles adheridas al perianto son fácilmente removidas por el lavado y restregado en agua hasta exponer la superficie suave de color pálido del pericarpio. El pericarpio consiste en una capa compacta y densa de células de alrededor 10 μm de espesor, debajo del pericarpio existen dos capas que cubren la semilla. Una de las capas tiene alrededor de 20 μm de espesor y contiene gránulos poligonales de almidón y

cuerpos de electrones densos, la segunda cubierta de la semilla está ligada al perisperma, tiene 3 μm de espesor que puede ser la cutícula.

FIGURA 2

ESTRUCTURA ANATÓMICA DEL GRANO DE QUINUA



Fuente: Tapia y Fries (2007); Gandarillas, 1982 citado por Bonifacio (2006).

2.1.4 Taxonomía

La quinua es una especie que se clasifica en la división Magnoliopsida, subclase Caryophyllidae, orden Caryophyllales, familia Chenopodiaceae, género *Chenopodium*, sección *Chenopodia* y subsección *Cellulata* (Cronquist, 1995). La familia *Chenopodiaceae* también comprende cultivos originarios del viejo mundo, particularmente la remolacha azucarera y raíz de remolacha (todos *Beta vulgaris* L.) y espinacas (*Spinacea oleracea* L.). Pertenece a la especie *Chenopodium quinoa* Willd (Álvarez *et al.*, 1990).

Reino: *Vegetal*

División: *Fanerógama*

Clase: *Dicotiledóneae*

Orden: *Centrospermales*

Familia: *Chenopodiaceae*

Género: *Chenopodium*

Especie: *Chenopodium quinoa*

Nombre científico: *Chenopodium quinoa* Willd

2.1.5 Variedades de quinua

La quinua puede considerarse como una especie oligocéntrica con su centro de origen de amplia distribución y diversificación múltiple, el cual se atribuye a las orillas del Lago Titicaca como la región de mayor diversidad y variación genética, mostrando variabilidad en la coloración de la planta, inflorescencia y semilla, en los tipos de inflorescencia, y en el contenido de proteína, saponina y betacianina en las hojas, con lo que se obtiene una amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas (suelos, precipitación, temperatura, altitud, resistencia a heladas, sequia, salinidad o acidez) (Mujica, 1992).

Las principales variedades conocidas en la región Andina, en Perú son: Amarilla Maranganí, Kancolla, Blanca de Juli, Cheweca, Witulla, Salcedo-INIA, Iplla-INIA, Quillahuaman-INIA, Camacani I, Camacani II, Huariponcho, Chullpi, Roja de Coporaque, Ayacuchana-INIA, Huancayo, Hualhuas, Mantaro, Huacataz, Huacariz, Rosada de Yanamango, Namora, Tahuaco, Yocará, Wilacayuni, Pacus, Rosada de Junín, Blanca de Junín, Acostambo y Blanca Ayacuchana (Mujica *et al.*, 2001b; Tapia, 1990).

En estos últimos años, el INIA ha puesto a disposición de productores agrarios las siguientes variedades y líneas : Salcedo INIA, Illpa INIA, INIA 415-Pasankalla, INIA 420 – Negra Collana, INIA 427 – Amarilla Sacaca, INIA 431 – Altiplano, INIA Quillahuaman, Línea promisorio INIA Purpura, línea seleccionada INIA Chullpi Rosado, INIA Chullpi Rojo, INIA Misaquinua, INIA Amarillo (INIA, 2015).

CUADRO 1

CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA DE ALGUNAS VARIEDADES DE
QUINUA

Variedades	Color de grano	Forma	Tamaño (mm)
Sajama	Blanco	Cónica	2.0 – 2.5
Real	Blanco	Cónica	2.2 – 2.8
Kancolla	Blanco	Cónica	1.2 – 1.9
Blanca de Juli	Blanco	Cónica	1.2 – 1.6
Koitu	Marrón ceniciento	Esferoidal	1.8 – 2.0
Misa Jupa	Blanco - Rojo	Cónica	1.4 – 1.8
Amarilla Marangani	Amarillo -Anaranjado	Cónica	2.0 – 2.8
Cochasqui	Blanco opaco	Esférico	1.8 – 1.9
Witulla	Morado	Lenticular	1.7 – 1.9
Negra de Oruro	Negro	Redonda	2.1 – 2.8
Katamari	Plomo	Esferoidal	1.8 – 2.0
Pandela	Blanco	Cónica	2.2 – 2.8
Chullpi	Cristalino	Esférica aplanada	1.2 – 1.8

Fuente: Mujica *et al.* (2001a)

a). **INIA 420 Negra Collana**

Esta variedad de quinua presenta un ciclo vegetativo de 136 a 140 días, con una amplia base genética ya que es un compuesto de trece accesiones de doce localidades, comúnmente conocidos como “Qyutu jiwras”. El nombre se le fue asignado como resultado de las pruebas de identificación, adaptación y eficiencia desarrollados en el ámbito de la Estación Experimental Agraria Illpa del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), y evaluaciones participativas en campos, con agricultores de las comunidades campesinas de Collana, Collpa, Cieneguilla, Vizcachani, Kallachoco y Corcoroni de los distritos de Cabana, Ilave, Mañazo y Pilcuyo de la Región Puno (INIA, 2013).

CUADRO 2

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y AGRONÓMICAS DE
LA QUINUA INIA 420 NEGRA COLLANA

VARIEDAD: INIA 420 NEGRA COLLANA	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS
Altura de la planta (cm)	94 a 110
Tallo	
Diámetro	1,2 a 1,5 cm
Presencia de axilas pigmentadas	Ausentes
Presencia de estrías	Presentes
Color de las estrías	Verde
Color	Verde
Presencia de ramificación	Ausente
Hoja	
Borde de las hojas inferiores	Dentado
Dientes de las hojas basales	12 dientes
Longitud máxima del peciolo	28 a 36 mm

Longitud máxima de las hojas	64 a 96 mm
Ancho máximo de las hojas	53 a 66 mm
Inflorescencia o panoja	
Número de panoja por planta	1
Color de la panoja antes de la madurez	Verde
Color de la panoja en la cosecha	Gris
Tipo de panoja	Diferenciada y terminal
Forma de la panoja	Glomerulada
Longitud de panoja	30 a 38 cm
Diámetro de panoja	5 a 7 cm
Grano	
Color del perigonio	Verde
Color del pericarpio	Gris
Color del episperma	Negro brillante
Aspecto del perisperma	Opaco
Diámetro del fruto	1,6 mm
Características agronómicas	
Rendimiento del grano por planta	27,20 a 29,43 g
Peso de 1000 gramos	2,8497 a 2,8947 g
Rendimiento medio del grano	3,01 t/Ha
Latencia de la semilla	Ausencia
Reacción a factores abióticos adversos	
A bajas temperaturas	Tolerante
A la sequia	Tolerante
Evaluación química	
Contenido de saponina	0.015 a 0.018 %

Fuente: INIA (2013)

2.1.6 Ecotipos de quinua

La quinua es una planta simpátrica, pues a los lugares de distribución y expansión siempre va acompañada con sus parientes silvestres, con los cuales

se van entrecruzando y manteniendo la diversidad (Mujica y Chura, 2012), en la que el hombre andino ha participado seleccionando las plantas de grano blanco y de tamaño grande en comparación a las silvestres que son de grano negro y pequeño (Gandarillas, 1979, citado por Bonifacio, 2006).

Actualmente, existen pocas evidencias arqueológicas, lingüísticas, etnográficas e históricas sobre la quinua. Sin embargo, existen evidencias claras de la distribución de los parientes silvestres, botánicas y citogenéticas, lo que posiblemente demuestra que su domesticación tomó mucho tiempo, hasta conseguir la planta domesticada y cultivada a partir de la silvestre (Mujica *et al.*, 2001a). Es por ello, que las especies cultivadas hoy en día, presentan una diversidad genética amplia y de la misma forma sus parientes silvestres, que no siempre es fácil distinguir entre silvestres y domesticadas, existiendo además formas internas en proceso de domesticación (Bonifacio, 2006).

Las plantas silvestres de quinua tienen una distribución mundial, son aquellas que se han desarrollado sin intervención del hombre, y poseen valiosos genes que se constituyen en un potencial genético que puede ser aprovechado en el futuro. Algunos taxones y poblaciones se caracterizan por tolerar y resistir el ataque de insectos y enfermedades de heladas y sequias; además poseen características favorables en cuanto al valor nutritivo y duración del ciclo de producción (Rojas *et al.*, 2008).

Dentro de las zonas de producción de la quinua, un grupo de ecotipos y variedades son cultivados en zonas circundantes al lago Titicaca (Perú y Bolivia) donde tradicionalmente se cultiva la quinua dulce y amarga que presenta el grano mediano a pequeño (Bonifacio, 2006), encontrándose a los parientes silvestres específicos, así a orillas del Titicaca encontramos con

mayor frecuencia a *C. carnosolum* Moq. (Chocca chiwa) y *C. quinoa* ssp. *Melanospermum* Hunz (ayara, o ajara, o aara) (Mujica y Chura, 2012).

Según, Bonifacio (1990), el color oscuro del grano a partir de materiales de grano blanco, se debe a una anomalía genética, en donde algunas variedades y ecotipos comerciales en las que aparecen espontáneamente los colores oscuros del grano, son atribuidos al cruzamiento natural con quinua silvestres, sin embargo, autofecundaciones controladas en el ecotipo Real Pandela y Sayaña han mostrado segregación en color de la planta y en el grano, lo cual es un indicio de una segregación espontánea, atribuido no sólo al cruzamiento natural con especies silvestres sino a la acción de elementos genéticos de transposición.

La mayor diversidad de los parientes silvestres se encuentran en las aynokas, mandas o laymes (terrenos comunales), que son sistemas ancestrales de organización campesina, en ellas, los campesinos pueden reconocer y cultivar en mezclas con múltiples y diferentes finalidades: seguridad alimentaria, manejo racional de suelos y plagas, daños por factores climáticos, conservación de la diversidad genética *in situ*, manejo altitudinal y uso racional de la diversidad (Mujica y Jacobsen, 2000; Ichuta y Artiaga, 1986 citado por Mujica y Jacobsen, 2006).

También podemos encontrar a los parientes silvestres en forma aislada, ya sea en los bordes de las chacras o lugares considerados sagrados, que son reductos donde se desarrollan y son cuidados por los propios campesinos. En muchos casos están utilizados en la alimentación, como medicina o para usos rituales, sobre todo en épocas de extrema sequía o desastres climáticos

característicos de la zona altiplánica de Perú y Bolivia. Estos lugares reciben el nombre de Gentil Wasi o Phiru (Mujica y Jacobsen, 2006).

En la actualidad se tienen siete especies de parientes silvestres de la quinua, y una gran variabilidad dentro de cada especie: *Chenopodium carnosulum*, *C. petiolare*, *C. pallidicaule*, *C. hircinum*, *C. quinoa ssp. melanospermum*, *C. ambrosioides* y *C. Incisum*. En la evolución de la quinua posiblemente han participado *Chenopodium carnosulum*, por ello su gran tolerancia a la salinidad, *C. petiolare*, por su resistencia a la sequía y *C. pallidicaule* para resistir contra el frío (Mujica y Jacobsen, 2006).

La mayoría de los ecotipos presentan granos con presencia de saponina que se conoce como quinua amarga y otros ecotipos y variedades no presentan saponina lo que se conoce como quinua dulce. Entre estos dos extremos, existe una variación atribuible a mezclas mecánicas o debido a cruzamiento entre variedades amargas y dulces (Bonifacio, 2006).

a). Ayara (*Chenopodium quinoa ssp. melanospermum* Hunz).

Canahua y Mujica (2013), mencionan que las quinuas silvestres llamadas en la cultura aymara como “Aaara” y en la quechua “Ayara”, aparecen en forma espontánea en campos de cultivo de quinua.

Mujica y Jacobsen (2006), indican que esta especie presenta $2n=4x=36$ cromosomas. Presenta una raíz más profunda y ramificada, semillas oscuras con granos grandes, fuertemente adheridos al perigonio, menor dehiscencia y similar en morfología y fenología a la quinua cultivada.

Son muy resistentes a variaciones climáticas extremas como sequías, presentando un mejor desarrollo (Mujica y Jacobsen, 2006), asimismo resiste a

heladas, granizo, enfermedades y plagas, debido a sus características fisiológicas y morfológicas (Canahua y Mujica, 2013). Vendría a ser escape del cultivo de la quinua que estaría entrecruzando en forma natural, tanto con la especie cultivada como la silvestre, ya sea *C. hircinum* o sus parientes diploides. Por ello, es frecuente encontrar siempre plantas silvestres (ayaras) en los campos cultivados y granos negros en las inflorescencias blancas de la especie cultivada, encontrándose 40 genotipos diferentes, cuya coloración de semilla oscura varía desde el negro hasta el marrón claro, pasando por colores intermedios como amarillo oscuro o morado negruzco (Mujica y Jacobsen, 2006).

Los agricultores generalmente la cosechan junto a la cultivada por ser similar en tamaño de grano, forma de planta, arquitectura de los glomérulos dentro de la panoja y otras características, aunque sostienen que tiene mayor valor nutritivo; por ello, es difícil eliminarla de los campos de cultivo. También, se registraron una gran diversidad de usos tanto de las hojas, plántula como ingrediente de sopas, la inflorescencia como arrebozado de semillas para elaborar kispíño (panecillo cocido al vapor y de color oscuro) y la broza para alimentación de animales rumiantes (vacuno y ovino) (Mujica y Jacobsen, 2006). Asimismo, los campesinos recolectan para alimentar a niños, enfermos, ancianos y a madres gestantes/lactantes en forma de mazamorra con cal, panecillos (quispiño) y/o torrijas (Canahua y Mujica, 2013).

2.1.7 Composición química de la quinua

La quinua ha sido utilizado conjuntamente con la cañihua como fuente proteica y energética en la alimentación de amplios sectores de la población (Torres y Minaya, 1980), sus granos han sido utilizados en la dieta de los

pobladores tanto de valles interandinos, zonas más altas, frías y áridas (Mujica, 1992). Su marginación y reemplazo se inició con la conquista y con la introducción de cereales como la cebada y el trigo (Mujica, 1992; Jacobsen y Stolen, 1993).

La quinua ha sido reconocido como un alimento nutritivo en todo el mundo, tanto por su cantidad relativamente alta (en comparación con los cereales) y la calidad fina de sus proteínas, en cuanto al balance ideal de aminoácidos esenciales, ácidos grasos esenciales como el omega 3, 6 y 9, en forma equilibrada, vitaminas y minerales como el calcio y el hierro, además de no contener gluten (Vega-Galvez *et al.*, 2010, citado por Abderrahim *et al.*, 2015; FAO, 2011; Mujica y Jacobsen, 2006).

Cien gramos de quinua contiene casi el quíntuple de lisina, más del doble de isoleucina, metionina, fenilalanina, treonina y valina, y cantidades muy superiores de leucina (todos ellos aminoácidos esenciales junto con el triptófano) en comparación con 100 gramos de trigo. Además supera a éste, en las cantidades de histidina, arginina, alanina y glicina, además de contener aminoácidos no presentes en el trigo como la prolina, el ácido aspártico, el ácido glutámico, la cisteína, la serina y la tirosina (todos ellos aminoácidos no esenciales) (FAO, 2011)

En relación al contenido de grasa en la quinua, se han realizado estudios en el Perú encontrándose que el mayor porcentaje de ácidos grasos presentes es el Omega 6 con un valor de 50.24%, valor muy similar a los encontrados en el aceite de germen de maíz, que tiene un rango de 45 a 65%. Los valores encontrados de Omega 9 y 3 fueron 26.04% y 4.77% respectivamente, seguido del ácido palmítico con 9.59% y en pequeña proporción el ácido esteárico y el

eicosapentaenoico, siendo muy similar al aceite de germen de maíz (FAO, 2011). Es importante recalcar la cantidad relativamente alta de aceite en la quinua, aspecto que ha sido muy poco estudiado, que la convierte en una fuente potencial para la extracción de aceite.

Los minerales presentes en la quinua en relación al trigo, maíz, arroz, cebada, avena, centeno, y triticale, son superiores en cuanto a calcio, magnesio y zinc, presentando el cuádruple que el maíz, casi el triple que el arroz y mucho más que el trigo; en cuanto al hierro, la quinua presenta el triple que el trigo y el quíntuple que el arroz, careciendo el maíz de este mineral; en fósforo, los niveles son muy parecidos a los del trigo, pero muy superiores a los del arroz y al maíz. El manganeso presente en la quinua es inferior al trigo; respecto al potasio, magnesio y zinc, los valores presentes en la quinua son superiores doblando su contenido casi a todos los cereales (FAO, 2011). En relación al contenido de cobre y litio, la quinua presenta pequeñas cantidades según lo mencionado por Llorente (2008), citado por FAO (2011).

Según, Rojas *et al.*, (2010b) al comparar la composición de nutrientes de la quinua, respecto al trigo, arroz y maíz, observaron que los promedios que reportan para la quinua son superiores a los tres cereales en cuanto al contenido de proteína, grasa, fibra y ceniza, con excepción del maíz cuyo porcentaje de fibra está por encima de la quinua; en cuanto al contenido de carbohidratos, el trigo, arroz y maíz, supera a la quinua.

Recientes estudios realizados por Tang *et al.* (2015) han demostrado que la quinua negra es una buena fuente dietética de antioxidantes individuales como la luteína y la γ -tocoferol.

CUADRO 3

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA QUINUA

Componentes	Valor en 100 g
Proteínas	13.6 g
Grasa	5.8 g
Carbohidratos	66.6 g
Energía	343 Kcal
Fibra	1.9 g
Ceniza	2.5 g
Calcio	56.0 mg
Hierro	7.5 mg
Fósforo	242.0 mg

Fuente: Reyes *et al.* (2009).

CUADRO 4

CONTENIDO DE VITAMINAS EN EL GRANO DE QUINUA

Vitaminas	Rango (mg / 100 g de materia seca)
Vitamina A (Carotenos)	0.12 – 0.53
Vitamina E	4.60 – 5.90
Tiamina	0.05 – 0.60
Riboflavina	0.20 – 0.46
Niacina	0.16 – 1.60
Ácido ascórbico	0.00 – 8.50

Fuente: Ruales y Nair (1992).

CUADRO 5

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA QUINUA VARIEDAD INIA 420 NEGRA
COLLANA

Componentes	Contenido
Humedad	10.00 %
Proteínas	17,85 N x 6.25 %
Fibra	1.89 %
Cenizas	2,20 %
Grasa	9,82 %
Energía	385,46 Kcal/100 g
Acidez	0,00 %
Saponina	0,015 %

Fuente: INIA (2013).

2.1.8 Factores antinutricionales de la quinua

La quinua contiene una serie de elementos tóxicos como los inhibidores de la tripsina y las saponinas. La presencia de proteasas en los alimentos reduce el valor biológico de las proteínas, de este grupo de factores el más conocido es el inhibidor de la tripsina, que inhibe la actividad segregada por la glándula exocrina del páncreas (Ayala *et al.*, 2001).

Las saponinas presente en la quinua, se encuentra en el pericarpio (adherido al fruto, presentando alveolos), éste compuesto le transfiere un sabor amargo a la quinua (Torres y Minaya, 1980). Según Gandarillas (1982), citado por Bonifacio (2006), la presencia o ausencia de saponina está determinado por un simple gen, siendo dominante la presencia y recesiva la ausencia de

saponina. Aunque algunos autores sugieren que la herencia de la presencia de saponina es poligénica en razón de una variación gradual en el contenido de saponina observada en las variedades de quinua amarga. Sin embargo, la variación gradual puede ser atribuible a mezclas mecánicas o grados de pulimento ocurrido durante la trilla o por la intemperización del grano antes de la cosecha.

Los principales efectos de la saponina fueron señalados por Cheeke (1971), citado por Tapia *et al.* (1979) quién indicó que se produce hemólisis de los eritrocitos y se afecta el nivel de colesterol en el hígado y la sangre con lo que puede producirse un detrimento en el crecimiento, a través de la acción sobre la absorción de nutrientes. Mientras Oackenfull *et al.*, (1978), citado por Ayala *et al.* (2001), manifiestaron que las saponinas presentes en la quinua, son glucósidos que no perjudican al hombre en las cantidades que normalmente se encuentran después del lavado de la quinua. Incluso tienen efectos beneficiosos por reducir los niveles de colesterol en la sangre. Southon *et al.* (1981), citado por Ayala *et al.* (2001), mencionan que las saponinas no se absorben en el intestino y por lo tanto afectan la absorción del zinc y el hierro.

Tellería *et al.* (1978), citado por Ayala *et al.* (2001), demostraron que al lavar la quinua a 50°C en las variedades Sajama (1.7%) y blanca (1.9%) presentan menor concentración de saponinas que las variedades amarilla (2.3%) y colorada (2.8%).

2.1.9 Propiedades funcionales de la quinua

Las proteínas son de elevada calidad, con respecto al perfil de aminoácidos mejor que la leche, huevo o carnes. Siendo la única dificultad

mejorar la digestibilidad en grupos de infantes para alimentos complementarios (Abugoch, 2009).

Se han encontrado polipéptidos hipotensivos o monotensivos, para su utilización en la hipertensión, que es una patología prevalente y en aumento mundialmente. Cuantitativamente la Lisina y Arginina, son elevadas y promueven el desarrollo y crecimiento de infantes y niños, como la reparación de tejidos y solución para varias patologías neuronales. La proteína es completa pero sin excesos de aminoácidos esenciales, en especial de los azufrados (Metionina y Cisteína) lo cual puede ser un remplazo vital en patologías renales y hepáticas (Fennema, 2000).

Dentro de los minerales se tiene el Potasio, Magnesio, Hierro, Zinc, Cobre, Manganeso que tienen valores superiores a la mayoría de los alimentos, utilizados en problemas autoinmunitarios musculares, sobrepeso y obesidad, hipertensión, anemia y embolia (Abugoch, 2009). En relación a los antioxidantes son principalmente compuestos fenólicos, saponina, tocoferoles y tocotrienoles, los cuales dan valores altos de FRAP (capacidad antioxidante total del plasma) y ORAC (capacidad de absorción de radicales de oxígeno) en varios ecotipos superiores a los de sorgo alto en polifenoles (cereal alto valor antioxidante), previniendo del daño por radicales libres que provocan cáncer, alergias, Artritis reumatoideas, cardiopatías y envejecimiento prematuro (Abugoch, 2009).

Recientes estudios realizados por Tang *et al.* (2015) han demostrado que la quinua negra es buena fuente dietética de antioxidantes individuales como la luteína y la γ -tocoferol.

2.1.10 Uso de la quinua en la agroindustria

La quinua ofrece la posibilidad de ser procesado en diferentes productos, como la quinua perlada, que es base para otros como la harina de quinua, expandidos, extruidos, hojuelas, pastas o fideos, malteados, entre otros, quedando un inmenso potencial por desarrollar.

Generalmente la quinua es utilizada para la molienda, y en diferentes investigaciones realizadas en panificación, han demostrado la factibilidad de adicionar harina de quinua entre 10% a 30% como sustituto de harina de trigo (Rea, 1948; Llerena, 1973; Ballón *et al.*, 1982), 7% (Ferrari, 1976), y hasta 40% todos citados por Mujica *et al.* (2006). Recientes estudios recomiendan hasta un 15.5%, ya que su uso en mayor porcentaje modifica las características organolépticas, y hace que el consumidor no las acepte.

En estudios de elaboración de pastas, incluyendo la harina de quinua en porcentajes de 30, 40 y 50 %, los resultados indican que los fideos sustituyendo parcialmente la harina de trigo por quinua, son de excelente calidad (Tapia *et al.*, 1979). Por su parte Quispe (2003) sugiere el empleo hasta un 20% de harina de quinua en la elaboración de pastas con un almacenamiento de 60 días debido a su aceptabilidad y características microbiológicas.

Las perspectivas de procesamiento de la quinua son mucho mayores aún si se considera el uso industrial y farmacéutico de algunos componentes. Tal es el caso de la producción de colorantes naturales comestibles, a base de antocianinas; el uso de la quinua en medicamentos, sobre todo cuando se establezca con certeza su valor en el tratamiento tradicional de algunas

enfermedades; y se precise el rol que la saponina podría jugar en deprimir los niveles de colesterol, o en contrarrestar el mal de altura, entre otros (Tapia, 1990).

2.2. ANTIOXIDANTES

2.2.1 Aspectos generales

El antioxidante es una molécula capaz de prevenir o retardar la velocidad de oxidación de las sustancias autooxidables (perdida de uno o más electrones) de otras moléculas, generalmente sustratos biológicos como lípidos, proteínas o ácidos nucleicos (INTA, 2015; Fennema, 2000), al entregar un electrón a los radicales libres se desactivan, apagando el proceso de oxidación, y transformándose ellos en radicales libres inactivos o flojos (Leighton *et al.*, 2000), todo ello evitan la pérdida de olores, sabores y apariencia general de los alimentos (Alcazar, 2002).

Para que un compuesto sea definido como antioxidante debe cumplir dos condiciones básicas, la primera es que cuando se encuentre en una concentración baja con relación al sustrato que va a ser oxidado, puede retrasar o prevenir la autooxidación o la oxidación mediada por un radical libre y la segunda, no puede actuar en oxidaciones posteriores (Rice-Evans *et al.*, 1996). Los radicales libres se producen como resultado de la oxidación celular, y su número limitado y controlado resulta beneficioso para el organismo, por su papel que desempeñan dentro del sistema inmunológico, dado que son capaces de eliminar microorganismos, pero cuando su número aumenta y se inestabiliza produce resultados negativos como es el caso de enfermedades degenerativas como alteraciones en el aparato circulatorio, sistema nervioso,

cáncer, SIDA o el envejecimiento, debido a la alteración del ADN de las células (McEwen, 1998).

Leighton *et al.* (2000), mencionan que los radicales libres, son especies químicas, átomos o moléculas, con un electrón solitario girando en sus órbitas extremas. Esta condición, químicamente muy inestable, lo torna sumamente activo puesto que el electrón impar o solitario “busca desesperadamente una pareja” para salir del desequilibrio atómico. Para lograr su objetivo, sustrae un electrón a cualquier molécula vecina, es decir, la oxida alterando su estructura y convirtiéndola a su vez en otro radical libre ansioso de captar un electrón, generando así una reacción en cadena.

2.2.2 Tipos de antioxidantes

INTA (2015), señala que existen dos tipos de antioxidantes. El primero hace referencia a los antioxidantes endógenos, es decir mecanismos enzimáticos del organismo (superóxidodismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa, glutatión y la coenzima Q-); algunas enzimas necesitan cofactores metálicos como el selenio, cobre, zinc, hierro y magnesio para poder realizar el mecanismo de protección celular. El segundo tipo se refiere a los antioxidantes exógenos, introducidos por la dieta y se depositan en las membranas celulares impidiendo la lipoperoxidación (Vitaminas E, C, Carotenos, flavonoides, licopeno, etc.). Por su parte Pokorny *et al.* (2005), diferencian claramente dos tipos:

a). Antioxidantes sintéticos

Los antioxidantes sintéticos más usados son los compuestos fenólicos como el Butil-Hidroxi-Anisol (BHA), el Butil – Hidroxi-Tolueno (BHT), el Ter-

Butilhidroquinona (TBHQ) y los ésteres del ácido gálico, como el galato de propilo o Propilgalato (PG). Los antioxidantes fenólicos sintéticos contienen sustituciones alquílicas para mejorar la solubilidad en grasas y aceites (Pokorny *et al.*, 2005).

La toxicología de los antioxidantes sintéticos se ha estudiado con gran profundidad. Sin embargo, actualmente se está cuestionando el uso de algunos de ellos ya que nuevos datos toxicológicos, obtenidos durante su prolongado período de uso, aconsejan mantener cierta precaución. En este sentido, los productos naturales se presentan como sustancias más saludables y seguras (Pokorny *et al.*, 2005).

b). Antioxidantes naturales

Se trata de un grupo de vitaminas y otros compuestos vegetales y enzimas que bloquean el efecto perjudicial de los denominados radicales libres (INTA, 2015). Es muy difícil intentar definir los antioxidantes naturales, pero en general el término alude a aquellas sustancias que se presentan o pueden ser extraídas de los tejidos de las plantas y los animales, y a aquellos que se forman durante el cocinado o el proceso de compuestos alimenticios de origen vegetal o animal (Pokorny *et al.*, 2005).

Los antioxidantes naturales se encuentran presentes en todas las plantas, microorganismos, hongos e incluso en los tejidos animales. La mayoría son compuestos fenólicos, entre los cuales los grupos principales son los tocoferoles, los flavonoides y los ácidos fenólicos (Pokorny *et al.*, 2005).

2.2.3 Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante es la medida de los moles, de un radical libre dado reducido por una solución prueba, independientemente de la actividad antioxidante de cualquier antioxidante presente en la mezcla (Ghiselli *et al.*, 2000 citado por Tememoche, 2003). El concepto básico de actividad antioxidante de varios compuestos naturales y sintéticos comprende una transición Redox mediante el cual la molécula antioxidante dona un electrón o átomo de hidrógeno, equivalente a la donación de un electrón y un H⁺ al radical libre R* (Cadenas, 2000 citado por Gamarra, 2003).

La capacidad antioxidante de un alimento depende de la naturaleza y concentración de los antioxidantes naturales presentes en él. La mayoría de los compuestos antioxidantes de las frutas y verduras se deben a ciertos compuestos como la vitamina C, vitamina E o β caroteno, además de los recientes estudiados y caracterizados compuestos fenólicos (flavones, isoflavones, flavonones, antocianinas, catequinas e isocatequinas), estos últimos son frecuentes de la dieta humana y han demostrado tener una alta capacidad antioxidante (Wang *et al.*, citado por Tememoche, 2003).

La capacidad antioxidante varía en función del grupo de compuestos estudiados y de su solubilidad en la fase acuosa o lipídica. Además, la gran diversidad de métodos empleados proporcionan resultados numéricos distintos difíciles de comparar para solventar este problema en la mayoría de estudios científicos se utiliza el Trolox (ácido 6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametilcroman-2-carboxílico) como patrón, sustancia que se caracteriza por ser un análogo

hidrosoluble de la vitamina E (Martinez-Valverde *et al.* 2000 citado por Gamarra, 2003).

En el Cuadro 6, se presenta la capacidad antioxidante de algunos alimentos recopilados de diferentes trabajos de investigación.

CUADRO 6

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE ALGUNOS ALIMENTOS

Alimento	Capacidad antioxidante (µg. Trolox eq./g)
Tunas ¹ (bh)	4.20-5.31
Fresa ² (bh)	15.36
Ciruela ² (bh)	9.49
Uva ² (bh)	7.39
Naranja ² (bh)	7.50
Kiwi ² (bh)	6.02
Plátano ² (bh)	2.21
Tomate ² (bh)	1.89
Té verde ³ (bh)	5.2
Aceite de semilla de Uva ³ (bh)	2.4
Arandalo ³ (bh)	2.7
Avellana de la Bruja ³ (bh)	1.7
Propolio EPID ³ (bh)	0.9
Ayrampo ⁴ (bh)	26.24
Colorante en polvo de Ayrampo ⁴ (bh)	31.53

Semillas de Ayrampo ⁵ (bh)	6 946.01
Cáscara de Manzana Delicia Goleen ⁶ (bh)	4.64
Vinos Rojos ⁷ (bh)	3 294.4 – 3 821.5
Cañihua Variedad Cupi ⁸ (ms)	4 178.65
Cañihua Variedad ILLPA INIA 406 ⁸ (ms)	4 064
Cañihua Variedad Ramis ⁸ (ms)	3 686.92

Fuente: ¹Butera *et al.* (2002), ² Hong *et al.* (1996), ³ Pietta *et al.* (1998), ⁴ Sarmiento (2003), ⁵ Gamarra (2003), ⁶ Chinnici *et al.* (2004), ⁷ De Beer *et al.* (2003), ⁸Luna (2002), citados por Riva (2010).

2.2.4 Medición de los antioxidantes

La actividad antioxidante no puede ser medida directamente, pero puede determinarse por los efectos del compuesto antioxidante en un proceso de oxidación controlado. La medición de una muestra oxidante, pueden usarse intermediarios o productos finales para valorar su capacidad antioxidante. (Tovar, 2013).

Huang *et al.* (2005), citado por Tovar (2013), señalan que para determinar la capacidad antioxidante pueden ser divididos en dos categorías, el primero, ensayos basados en la reacción por transferencia de átomos de hidrógeno (HAT) y el segundo en ensayos basados en la reacción por transferencia de electrones (ET). En el Cuadro 7, se muestra las dos categorías.

CUADRO 7

CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS DE ENSAYO

ENSAYO	CATEGORÍA
Ácido 2,2-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico (ABTS ^{•+})	Ensayos basados en la transferencia de electrones (ET)
1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH [•])	
Poder de reducción antioxidante del hierro (FRAP)	
N,N-dimetil-p-fenilendiamina (DMPD)	
Capacidad de reducción antioxidante del cobre (CUPRAC)	
Capacidad de absorción del radical oxígeno (ORAC)	Ensayos basados en la transferencia de átomos de hidrógeno (HAT)
Parámetro antioxidante de captura de radicales (TRAP)	
Inhibición de la oxidación del ácido linoleico	
Inhibición de la oxidación de los lípidos de baja densidad (LDL)	

Fuente: Huang *et al.* (2005), citado por Tovar (2013)

Comúnmente, la capacidad antioxidante se mide utilizando el ensayo de decoloración ABTS. Otros ensayos de capacidad antioxidante que utilizan Trolox como estándar incluyen los ensayos del difenilpicrilhidrazilo (DPPH), la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC), la capacidad antioxidante total del plasma (FRAP) y el ensayo TEAC se utiliza para medir la capacidad de los alimentos, bebidas y suplementos alimenticios (Huang *et al.*, 2005, citado por Tovar, 2013). Por otra parte, Duarte-Almeida *et al.* (2006), citado por Hirsh (2011), indican que el método DPPH es el método más antiguo

para determinar la capacidad antioxidante, este método ha sido considerado uno de los modelos más representativos para el empleo de los radicales en la evaluación de la capacidad de eliminación de los radicales libres.

Según Sanchez-Moreno (2002), las medidas de la actividad antiradicalaria se puede realizar mediante dos estrategias distintas, en función de la información que se desea obtener. El primero mediante la determinación directa, en donde el radical se emplea como un factor de cuantificación (produce una señal analítica). La adición del antioxidante, antes o después de la generación del radical, provoca una disminución de la señal. En el ensayo de post adición se forma el radical en ausencia de la muestra y así, cuando se añade la sustancia antioxidante se produce un descenso en la señal debido a la disminución de concentración del radical. En ensayos de inhibición, la muestra se añade a los sustratos de oxidación antes que sea generado el radical, la reacción comienza con la adición del oxidante (ABTS, DPPH, entre otros).

La segunda determinación es indirecta, mediante la presencia de radicales libres, produce la pérdida o aparición de un reactivo, y por tanto, en presencia de un antioxidante se provoca el aumento o disminución de la señal (métodos ORAC, FRAP, etc.) (Sanchez-Moreno, 2002).

2.2.5 Mecanismo de acción de los antioxidantes

Los antioxidantes proporcionan protección contra los procesos oxidativos y vienen llamando la atención como un potencial agente quimiopreventivo (Ahn *et al.*, 2002). De forma general, se denomina antioxidantes a las sustancias que presentes en concentraciones bajas, comparadas al sustrato oxidable,

retardan significativamente o liberan la oxidación desde sustrato (Barreiros *et al.*, 2006).

De acuerdo a Bianchi y Antunes (1999), los antioxidantes actúan en diferentes niveles en la protección de los organismos. El primer mecanismo de defensa contra los radicales libres es impedir su formación, principalmente por la inhibición de las reacciones en cadena con el hierro y el cobre. Asimismo, los antioxidantes son capaces de interceptar los radicales libres generados por el metabolismo celular o por fuentes exógenas, impidiendo el ataque sobre los lípidos, los aminoácidos de las proteínas, la doble ligación de los ácidos grasos poli-insaturados y las bases del DNA, evitando la formación de lesiones y la pérdida de la integridad celular.

Los antioxidantes pueden intervenir directamente en la neutralización de la acción de los radicales libres o participar indirectamente de sistemas enzimáticos con esa función, pueden ser clasificados en compuestos enzimáticos y no enzimáticos, estando presentes tanto en el organismo como en los alimentos ingeridos (Shami y Moreira, 2004).

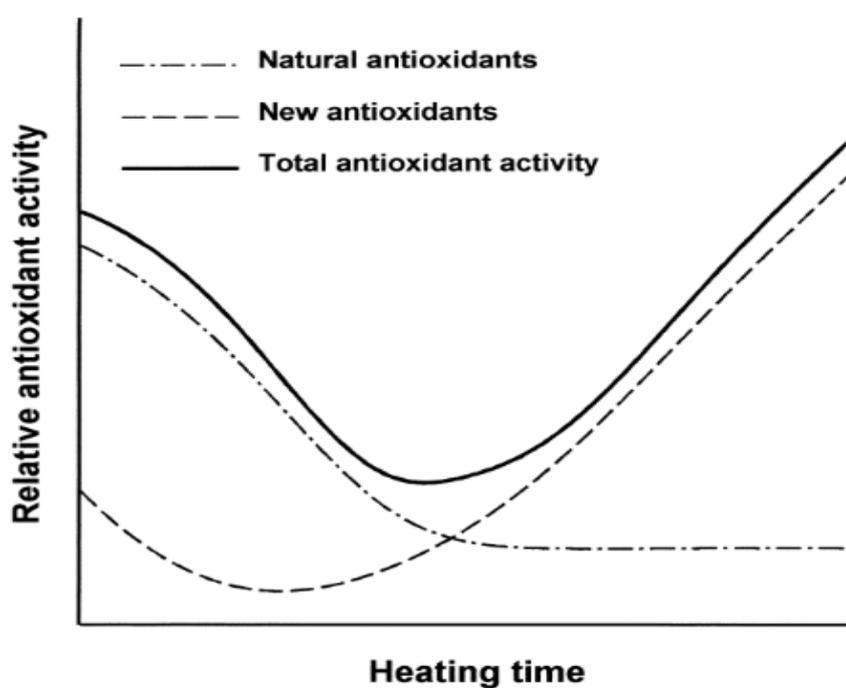
2.2.6 Cambios en la capacidad antioxidante sometida a tratamiento térmico

Severini y Lerici (1995), citado por Nicoli *et al.* (1999), mencionan que los acontecimientos simultáneos y diferentes que suceden en una matriz vegetal sometida a tratamientos térmico de corta duración, puede detectarse una reducción en las propiedades antioxidantes globales debido a la pérdida de antioxidantes naturales y/o formación de pro-oxidantes de la reacción de Maillard, prolongado el tiempo de calentamiento; esta pérdida puede

minimizarse mediante una recuperación o incluso un aumento de la actividad antioxidante debido a la formación de MRPs, sin embargo, sólo cuando se aplican temperatura altas se produciría una recuperación en las propiedades antioxidantes.

FIGURA 3

CAMBIOS EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE UNA MATRIZ VEGETAL
SOMETIDA A CALENTAMIENTO



Fuente: Nicoli *et al.* (1999).

2.2.7 Uso de antioxidantes en la agroindustria

En los últimos años se ha incrementado el interés por parte de las industrias alimentarias y los consumidores por el concepto de alimento funcional. Así, con un consumidor cada vez más interesado en alimentos saludables y una industria alimentaria que ha comprendido la potencialidad del mercado de los alimentos funcionales, se ha iniciado a nivel mundial una intensa actividad investigadora en el área de estos nuevos alimentos.

Pokorny *et al.* (2005), mencionan que los antioxidantes son ampliamente usados como aditivos en grasas y aceites durante el procesado de los alimentos para prevenir o retardar el deterioro oxidativo de los alimentos, por su parte Fennema (2000), menciona que su empleo debe cumplir exigencias y pruebas de inocuidad. Aunque los antioxidantes son agregados a menudo a los alimentos para estabilizarlos y prevenir el desarrollo de off-flavour (propiedades organolépticas indeseables), actualmente están siendo considerados de gran interés por su potencial rol como agentes terapéuticos.

Los principales antioxidantes son: butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), galato de propilo (PG), ácido nordihidroguayarático (IDGA) y terbutilhidroquinona (TBHQ). También se incluyen materiales tan diversos como el cloruro estañoso y los tocoferoles (Vitamina E) (Alcazar, 2002).

El antioxidante más adecuado en la industria para aceites y vegetales es el TBHQ, el BHA y el BHT son muy estables al calor y se usan a menudo para estabilizar las grasas de los productos cocinados y fritos. Las principales desventajas de los galatos son su tendencia a formar productos oscuros con los iones de hierro y su sensibilidad al calentamiento. Algunos antioxidantes, tales como el BHA y BHT, se usan en combinación por su efecto sinérgico. El BHA también presenta sinergismo con el PG (Pokorny *et al.*, 2005).

Según Scalbert y Williamson (2000) los niveles de compuestos antioxidantes pueden variar considerablemente dentro de la misma especie vegetal, e incluso entre sus variedades, debido a factores genéticos y ambientales que condicionan la germinación, crecimiento y calidad del cultivo.

2.3 LITIO

2.3.1 Historia

El Litio (Li), es un elemento simple que se encuentra en la naturaleza, fue descubierto por Johann A. Arfverdson en 1817, y debido a que Lipowitz observó la gran solubilidad en agua del urato de litio y a que en él se deshacían los depósitos de ácido úrico de los cartílagos se sugirió su empleo desde 1850, para el tratamiento de la gota, de la litiasis renal, de la uremia y del reumatismo, pero eran muy poco eficaces *in vivo*, llegando a resultar tóxicas (Velasco y Alvarez, 1988; Lafuente, 1991).

En 1886, Carl Lange escribió un trabajo sobre el empleo de Li en psiquiatría, especialmente en la melancolía. A finales de los años 40, se difundió el empleo del cloruro de Li como sustitutivo de la sal común en enfermos cardíacos o edematosos, poco después en 1949, John Cade psiquiatra australiano, publicó su trabajo en el que cuenta cómo casi por casualidad, llegó al descubrimiento del efecto beneficioso del Li en la agitación. Cade, decidió entonces probarlo en la clínica en dos condiciones diferentes: la excitación maníaca y la epilepsia, siendo el primer efecto comprobado ampliamente. El trabajo de Cade tuvo poca repercusión porque había sido publicado en una revista australiana de poca difusión (Lafuente, 1991).

En 1951 Noack y Trautner comprobaron que el litio presentaba efectos beneficios en la manía. Después se fueron comprobando su eficacia como preventivo de la recurrencia de las fases maníacas y depresivas y algunas de las demás acciones hoy conocidas. Desde esa fecha, entra plenamente en la historia de la psiquiatría. Para muchos autores supone, con neurolépticos y

antidepresivos, uno de los tres hallazgos más importantes de la era moderna de la farmacopsiquiatría (Lafuente, 1991).

En el siglo XIX, se detectaron trazas de litio en órganos humanos y tejidos fetales, que condujeron a la sugerencia de posibles funciones en el organismo. Sin embargo, tomó otro siglo hasta que la evidencia de la esencialidad de litio llegó a estar disponible. Desde los estudios de 1970 a 1990 en ratas y cabras mantenidas bajo raciones de este mineral, se pudo conocer sus reacciones como las mortalidades más altas, anormalidades reproductivas y de comportamiento, y su papel durante el desarrollo temprano del feto por su alto contenido en los embriones durante el periodo gestacional temprana, entre otros; los mecanismos bioquímicos de la acción del litio parecen ser multifactoriales y están correlacionadas con las funciones de varias enzimas, hormonas y vitaminas, así como el crecimiento y factores de transformación (Schrauzer, 2002).

2.3.2 Características generales

El Litio es un metal alcalino, blanco plateado, muy reactivo, con número atómico 3, masa atómica 6.941 g/mol, punto de ebullición 1.342°C, punto de fusión 181°C y densidad 0.53 g/cm³. Es el metal sólido más ligero, ocupando el lugar 35 en abundancia de la corteza terrestre; se oxida al instante y se corroe con facilidad (Lenntech, 2015). El litio se encuentra en forma de sales tales como carbonato, citrato, sulfato, acetato, gluconato y glutamato (Bueno *et al.*, 1985, citado por Sánchez, 2013)

En el suelo, se encuentra en la fracción primaria de la arcilla, agua potable, aguas superficiales, aguas minerales, aguas subterráneas y aguas

marinas (Kostik *et al.*, 2014), en la medida de alrededor de 0,006 % en peso, siendo el elemento 27 más abundante (Habashi, 1997), generalmente en forma de silicatos, y su proporción media en la corteza terrestre es de 30 ppm. (Lafuente, 1991). Pais (1980) citado por Vetter (2005) indica que el contenido total de litio en suelos varía de 8 a 4 000 ppm, pero la concentración de extraíble de litio es solamente de 0.3 hasta 0.5 ppm. Por su parte, Tabarés (2013), menciona que la presencia del litio en la corteza terrestre es de 65 ppm, cantidad más baja que el níquel, el cobre, el tungsteno y el serio, pero por encima del estaño en términos de abundancia.

Las concentraciones de litio en las aguas superficiales y subterráneas pueden ser superiores al medio ambiente y en general en lugares donde las salmueras son ricas en litio y se producen minerales (Aral y Vecchio-Sadus, 2008). Las concentraciones de litio en el agua subterránea pueden alcanzar los 500 µg/L, en el agua del río de las regiones ricas en litio en el norte de Chile 1 508 y 5 170 µg/L, respectivamente (Schrauzer, 2002).

Entre las propiedades físicas más notables del litio está el alto calor específico (capacidad calorífica), el gran intervalo de temperatura de la fase líquida, alta conductividad térmica, baja viscosidad y muy baja densidad. Además, es muy reactivo, tanto con compuestos orgánicos como inorgánicos. Reacciona con el oxígeno para formar monóxido y peróxido. Es el único metal alcalino que reacciona con el nitrógeno a temperatura ambiente para producir un nitruro de color negro (Lenntech, 2015).

2.3.3 Mecanismos de acción y farmacocinética

Lafuente (1991), señala que con la dieta alimentaria se ingieren unos 2 mg de litio diarios. Un ser humano adulto contiene en su organismo aproximadamente 2 mg de Li repartido en tejidos y órganos, aunque la mayor parte se localiza en el tejido óseo, por su parte Lenntech (2015) indica que la cantidad de litio en el cuerpo humano es aproximadamente de 7 mg. El litio no presenta uso biológico conocido ni es absorbido fácilmente por el cuerpo humano.

Las concentraciones séricas en el organismo van de 10 a 40 microq/l. un m Eq de Li, equivale a 37 mg de carbonato de Li (Bueno *et al.*, 1985, citado por Sánchez, 2013; Gómez-Jarado, 2012).

Los compuestos de litio se absorben de forma completa y rápida en el tracto gastrointestinal, sólo una pequeña parte (1% de lo ingerido) se pierde por heces en casos y condiciones normales (Lafuente, 1991), aproximadamente en 8 horas, cuando se administra por vía oral, alcanzando su concentración plasmática en un plazo de 2 a 4 horas (Gómez-Jarado, 2012).

El posible rol biológico del litio en el ser humano es la de regulación de alguna función endocrina (Nielsen, 1998). Los posibles efectos fisiológicos del litio son consecuencia de su papel de cofactor en diversas enzimas, como isocitrato deshidrogenasa y malato deshidrogenasa, implicadas en el ciclo de Krebs, o la aldolasa en la glucólisis, o la monoaminooxidasa, enzima clave en el metabolismo de catecolaminas (Mataix y Llopis, 2013).

Kronemann *et al.* (1983), citado por Schrauzer, (2002) y Lafuente (1991), mencionan que el litio se distribuye en el organismo en forma homogénea en el

agua corporal, a diferencia del Na (Sodio) y K (Potasio) los cuales están compartimentados por las membranas celulares, pero el equilibrio entre la sangre y el litio es casi completo a las 24 horas. Estudios de autopsia de personas adultas, revelaron que el cerebelo retiene más litio que otros órganos, seguido por el cerebro y los riñones. Dentro de los niveles de litio en órganos se encontraron algunas diferencias inexplicables, con las mujeres que exhiben 10% a 20% más de litio que los hombres en el cerebelo, cerebro, riñones, y el corazón, y el 13% menos de litio en el páncreas; las concentraciones de litio en el hígado, pulmones, costillas y la tiroides fueron aproximadamente los mismos para ambos sexos.

El litio desplaza al sodio y al potasio, por lo que altera el balance de estos iones, ocasionando además una elevación de la actividad del calcio intracelular, favoreciendo los procesos dependientes del calcio (Aronoff *et al.*, 1976, mencionado por Sánchez, 2013).

Durante el desarrollo embrionario, los niveles de litio en órganos alcanzan valores máximos en el primer trimestre de gestación y posteriormente disminuyen, al igual que ocurre con otros elementos traza. Al tercer trimestre, la concentración de litio del feto es de 1/3 que el primero. El contenido de litio de los riñones, hígado y las costillas siguen disminuyendo durante los primeros cinco a diez años de vida, en el caso de la próstata sigue disminuyendo en toda la vida (Schrauzer, 2002). Esta disminución del contenido de litio en la próstata fue investigada por Zaichick *et al.* (2015) quienes al estudiar el efecto de la edad sobre el contenido de litio en la próstata de hombres sanos, encontraron una disminución de este mineral en el tejido prostático, reduciendo de

0.107±0.052 mg/kg (recién nacidos a 10 años) a 0.044±0.013 mg/kg (61 a 87 años).

En un reciente estudio realizado en animales por Bruce Yankner, profesor de genética - neurología y su equipo de investigadores de la Escuela Médica de Harvard, encontraron que el litio puede activar el gen llamado REST, se sabe que éste gen (proteína) descubierto por Yankner se conecta (conmuta) durante el desarrollo fetal, y se reactiva en los cerebros de las personas mayores sanas para reparar los efectos del estrés. El REST es responsable de la enfermedad del Alzheimer; en autopsias realizadas a personas que murieron de esta enfermedad encontraron muy poca proteína REST, mientras que las personas de la misma edad que murieron de otras causas presentaron niveles altos (Harvard Health Publications, 2015)

Según las empresas dedicadas a la aplicación de terapias como Nattural Saluzvir (2016), manifiesta que a nivel del sistema nervioso central, el litio colabora en su equilibrio y bienestar. Actúa sobre los neurotransmisores mejorando las transmisiones nerviosas. Actúa sobre el equilibrio electrolítico extra e intracelular (básico para que las células puedan nutrirse y eliminar sus desechos). Puede colaborar en afecciones cardiacas, donde suelen encontrarse niveles muy altos de potasio en sangre (el litio ayudaría a disminuirlo). Asimismo a nivel renal puede ayudar cuando interesa eliminar sodio, sin hacernos perder potasio, y mejora la eliminación urinaria, sobre todo urea y ácido úrico. Por su parte Concha *et al.* (2010) citado por Harari *et al.* (2015) encontraron concentraciones de (~ 4 500 µg/L) de litio en la orina humana de pobladores de la parte andina del norte de la Argentina.

Creason *et al.* (1975), mencionado por Schrauzer (2002), reportaron niveles de litio en el cabello de adultos de la zona de New York, oscilando entre 0.009 a 0.228 $\mu\text{g/g}$ (N=206), siendo los valores ligeramente más altos para las mujeres que para los hombres, asimismo para otros elementos, y se atribuyó al alto contenido inorgánico (ceniza) en el cabello de las mujeres.

La concentración de litio se da en la médula renal (Sánchez, 2013), y el exceso se excreta principalmente por los riñones (Schrauzer, 2002), ésta eliminación es casi exclusiva por vía renal hasta un 95 %, una pequeña parte, se elimina por el sudor (4 – 5%), heces (1 %), saliva, lágrimas y la secreción láctea (Schou, 1959, citado por Lafuente, 1991; Gómez-Jarado, 2012), por lo que no debería ser causa importante del aumento de litemia (Lafuente, 1991), aunque un 80 % de la cantidad filtrada se reabsorbe a nivel del túbulo proximal y en pequeña proporción más distalmente (Gómez-Jarado, 2012), la excreción renal del litio es más lenta y la vida media es más prolongada en ancianos, más aún si deben consumir diuréticos (Salzman, 1982, citado por Sánchez, 2013).

El litio empleado habitualmente en los tratamientos por vía oral se absorbe en alta proporción (95%) por vía paracelular, pasando al torrente circulatorio y depositándose fundamentalmente en hueso y tiroides y la excreción se produce básicamente por vía renal y es dependiente del sodio (Mataix y Llopis, 2013). Sin embargo en pacientes las pérdidas son mayores, porque no se destruye el comprimido completamente, y por tanto, no hay liberación total (Lafuente, 1991). Recientemente, diversos estudios experimentales y clínicos indican que el litio influye en el ciclo de los fosfoinosítidos, disminuyendo los niveles celulares de mioinositol y aumentando el inositol-1-fosfato (Mataix y Llopis, 2013).

Mandell y Knapp (1982), citado por Sánchez (2013), mencionan que el litio estimula la captación de triptófano, esto da lugar al aumento en la síntesis de serotonina por las células que contienen triptófano-hidroxilasa en el líquido cefalorraquídeo humano, esto se refleja por un aumento temporal de los ácidos fenólicos, doblando el litio los niveles intraneuronales de triptófano. Esta investigación ya fue abordada por los mismos autores Mandell y Knapp en 1976, donde la administración de litio produjo cambios bioquímicos en distintos parámetros de la síntesis de serotonina en animales de experimentación.

2.3.4 Usos de litio en la Industria

El litio tiene una amplia variedad de usos en la industria, desde su origen fue, y sigue hoy en día utilizándose en la fabricación de cerámica. El hidróxido de litio se usa en las naves espaciales y submarinos para depurar el aire extrayendo el dióxido de carbono, y que los metales más ligeros de litio se utilizan como una aleación ligera de aluminio. Pero su uso más conocido son en las baterías eléctricas para vehículos eléctricos, en sustitución de plomo (un metal muy pesado) y de níquel-cadmio, que es muy costosa y contaminante. Como resultado de su alto calor específico, el litio se usa en aplicaciones de transferencia de calor, y su alto potencial electroquímico es adecuado para la creación de baterías eléctricas de ánodo (Lafuente, 1991; Tabarés, 2013).

Las rocas tienen un alto contenido de litio y estos son casi todas las fuentes de litio utilizada en la industria y la medicina (Felipe, 2015). En la industria farmacéutica, sus sales, particularmente el carbonato y el citrato de litio, se emplean en el tratamiento de la manía y la depresión bipolar, aunque últimamente, se ha extendido su uso a la depresión unipolar. (Baldessarini *et al.*, 2006). El cloruro y el bromuro de litio son altamente higroscópicos, por lo

que son excelentes secantes; el segundo se emplea en bombas de calor de absorción, entre otros compuestos, incluido el nitrato de litio (Lenntech, 2015).

En clínica, se emplea en forma de sales, derivados de ácidos orgánicos (acético) e inorgánicos (carbónico). La más común es el carbonato (CO_3Li_2), la parte activa, en cualquier caso, es el catión. Las formas farmacéuticas habituales en clínica son los comprimidos, algunos veces jarabes (citrato de litio) y cápsulas para el tratamiento de trastorno bipolar (Felipe, 2015; Lafuente, 1991).

2.3.5 Disponibilidad de litio

Entre los metales encontrados en el organismo, sólo algunos son esenciales pues su déficit provocará síntomas patológicos característicos, no se sabe con certeza si otros metales presentes tiene una función específica. Reilly (1980) y Guthrie (1986), citados por Cuadrado (1995), clasificaron los metales encontrados en:

- a). Macronutrientes esenciales en nutrición humana (funciones orgánicas): calcio, fósforo, potasio, azufre, sodio, cloro y magnesio.
- b). Micronutrientes esenciales en nutrición humana (funciones orgánicas): hierro, zinc, selenio, manganeso, cobre, yodo, molibdeno, cobalto, cromo, silicio, vanadio, níquel y arsénico.
- c). Elementos cuya esencialidad no ha sido aún establecida aunque hay evidencia de su participación en reacciones biológicas (reacciones celulares): bario, estaño, flúor, bromo, estroncio y cadmio.

- d). Elementos que se encuentran en el organismo pero a los que todavía no se les ha asignado un papel metabólico: oro, plata, aluminio, mercurio, bismuto, galio, plomo, antimonio, boro y litio.

Según, Schrauzer (2002) el litio, no se considera un mineral esencial para las funciones vitales, porque no hay síntomas de su deficiencia en humanos que hayan sido reportados, sin embargo, éste puede influenciar en el comportamiento sin causar cambios fisiológicos. Por su parte, Graças *et al.* (2009), mencionan que el litio es un micronutriente para los seres humanos, cuyo mecanismo de acción es complejo y está interrelacionado con las funciones de otros elementos, fármacos, hormonas, vitaminas, enzimas, factores de crecimiento y transformación. De la misma forma Kostik *et al.*, (2014), sostienen que el litio es uno de los oligoelementos más importantes para el funcionamiento del organismo humano, debido a que se inserta a través de los alimentos de origen vegetal (cereales, frutos secos, verduras) y agua.

El litio se encuentra disponible en los alimentos en cantidades variables, siendo los granos y vegetales las fuentes principales; en algunas zonas, el agua potable también proporciona cantidades significativas del elemento (Schrauzer, 2002; Graças *et al.*, 2009; Kostik *et al.*, 2014; Zaldivar, 1980, citado por Zarse *et al.*, 2011). Las fuentes ricas en litio incluyen los huevos, productos lácteos, carne procesada, pescado, papas y verduras (Mataix y Llopis, 2013; Anke *et al.*, 1990 citado por Nielsen, 1998).

Según Felipe (2015); Weiner (1991) mencionado por Aral y Vecchio-Sadus (2008), en los granos y verduras se puede encontrar 0.5 a 3.4 mg Li / kg de alimentos, en productos lácteos (0.50 mg Li/ kg de alimento) y la carne (Li 0.012 mg / kg de alimento). Por su parte, Kostik *et al.* (2014), mencionan que

las cantidades de litio en cereales y hortalizas son 430 y 2 900 mg/día respectivamente, mientras que en alimentos de origen animal presentan concentraciones insignificantes de 2.5 mg/día. Según Schrauzer (2002); Zaldivar (1980), citado por Zarse *et al.* (2011); Vetter (2005), indican que la ingesta depende de la ubicación y el tipo de alimento consumido variando en un amplio rango, según la dieta de ciertas regiones, ya que el contenido de litio en los alimentos está relacionada con sus concentraciones en el agua y el suelo, pero que han sido poco investigadas.

En alimentos, Graças *et al.* (2009) cuantificaron el contenido de litio en pulpas de frutas como Cupuaçu, Dão, Ingá, Melancia y Uva, encontrando dicho estudio valores entre 1.44 a 24.2 mg/100g de pulpa húmeda. Por su parte Vetter en el año 2002, verificó el contenido de litio en 171 muestras de 38 especies de algunos hongos comestibles y comunes que crecen de manera silvestre en diferentes localidades de Hungría, encontrando en 44 muestras cantidades mayores a 0.03 ppm de litio, donde el nivel medio de litio encontrado fue de 0.189 ppm (esporocarpo), los niveles medio más altos de litio presentaron 0.609 ppm (*craterellus cornucopioides*), 0.520 ppm de litio (*amanita strobiliformis*), y finalmente 0.390 ppm de litio encontrado en la especie *psathyrella candolleana*.

La necesidad de contar con alimentos que cubran las necesidades nutricionales de las personas y presenten una alternativa a un determinado medicamento ha hecho posible estudios para incrementar el contenido de litio en la dieta, mediante el enriquecido de hongos (*champiñones*), éste estudio fue realizado por Assunção *et al.* (2012), logrando duplicar la digestibilidad en un 70.51 ± 7.04 % de litio a diferencia del grupo control que presentó $27.46 \pm$

12.64 %, concluyendo que al adicionar 500 LiCl a la cáscara del café en el sustrato, el hongo presenta en la tercera cosecha más de $200 \mu\text{g g}^{-1}$ de Li, mayor que el grupo control con $25 \mu\text{g g}^{-1}$ de Li.

Estos trabajos son importantes porque gran parte de la población mundial consume alimentos a base de cereales o vive en regiones donde el suelo tiene un desequilibrio mineral, que a menudo puede resultar en una falta de nutrientes esenciales en su dieta (Johns & Eyzaguirre, 2007).

En relación a las plantas, éstas absorben fácilmente el litio, por ello las plantas son un indicador de las concentraciones en el suelo. El litio no es un mineral de alimentación para las plantas, pero estimula el crecimiento de las mismas, sin embargo un exceso de litio puede ser tóxico, aunque para prevenir ello se añade calcio al suelo a fin de prevenir la absorción de minerales más ligeros. La cantidad de litio en las plantas está entre 0.2 y 30 ppm. (Lenntech, 2015).

Lambert *et al.* (1983) citado por Vetter (2005), indican que en las plantas el contenido de litio principalmente en especies de pastizales se encuentra dentro del rango de 0.5 a 2.0 ppm. El nivel más alto se encuentra en la *Ranunculus repens*, y entre las dicotiledóneas y las monocotiledóneas el primero es mayor. Este mineral es tomado por las plantas aunque no parece necesario para su crecimiento y desarrollo, estando todavía esta cuestión no resuelta. Por su parte Tölgyesi (1983), citado por Vetter (2005), indica que las especies de plantas forrajeras en Hungría presentan litio en un rango de 0.2 y 200 ppm, pertenecientes a las familias Asteraceae y Solanaceae.

Las concentraciones de litio en el agua potable han sido reportadas en Texas, Japón e Inglaterra con valores entre < 1 y $170 \mu\text{g/L}$ (Bluml *et al.*, 2013; Kabacs *et al.*, 2011; Sugawara *et al.*, 2013 mencionados por Harari *et al.*, 2015), mientras que las concentraciones superiores a 1000 mg/L se han reportado en ciertas áreas de Austria (Kapusta *et al.*, 2011, mencionado por Harari *et al.*, 2015) y el norte de Chile (Zaldivar, 1980, citado por Harari *et al.*, 2015). Las aguas de las fuentes de Vichy, Perrier, Apopolonaire en Francia son las más ricas (Lafuente, 1991). Asimismo, Reimann y Birke (2010), citados por Harari *et al.* (2015) reportaron concentraciones altas de litio en un producto de agua embotellada de Eslovaquia con casi 10 mg/L ., por su parte Concha *et al.* (2010) citado por Harari *et al.* (2015) encontraron concentraciones elevadas en el agua potable ($\sim 1\ 000 \mu\text{g/L}$) detectados en la parte andina norte de la Argentina.

Lenntech (2015), indica que el litio se encuentra en el agua por la presencia del mineral en muchos minerales, principalmente en la ambliogonita, pelatita, lepidolite y spodumene.

En recientes investigaciones por Harari *et al.* (2015), demostraron que el litio del agua potable, pasa fácilmente la placenta al feto, aunque no queda claro en qué medida e incluso la medicación puede afectar el crecimiento y desarrollo del feto, pero faltan más estudios sobre los niveles de litio en el agua potable y su relevancia en la salud pública.

Hager *et al.* (2000), mencionado por Kostik *et al.* (2014); Aral y Vecchio-Sadus (2008), y Schrauzer (2002) refieren que como resultado de la importancia de que el litio tiene en el funcionamiento del cuerpo humano, y con base en datos de ingesta de litio en diferentes países, los científicos

encontraron que la ingesta provisional o cantidad diaria recomendada (RDA “Recommended Dietary Allowance”) es de 1 mg Li/día (1 000 $\mu\text{g}/\text{día}$) para un adulto con una masa corporal media de 70 kg, el cual equivale a 14.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal. Por su parte, Felipe (2015), indicó que la ingesta mínima de litio para un adulto (fisiológica) se estima en menos de 0,1 mg/día.

La ingesta dietética diaria típica de litio es de 200 a 600 μg . (Anke *et al.*, 1990 citado por Nielsen, 1998). La ingesta media diaria de litio en un americano adulto de 70 kg oscila desde 650 $\mu\text{g}/\text{día}$ (0.65 mg/día) a 3 100 $\mu\text{g}/\text{día}$ (3.1 mg/día), y las principales fuentes alimenticias son los vegetales y en algunas zonas el agua potable (Schrauzer, 2002; Lu and Kacew, 2003, citado por Kostik *et al.*, 2014). Estos valores fueron tomados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos que establece normas para la ingesta de litio para un adulto, a partir de los datos encontrados por Creason *et al.* (1975) quienes determinaron los niveles de litio en el cabello de pobladores de New York, en donde la ingesta media es de 650 $\mu\text{g}/\text{día}$, rango de 100 a 2 645 $\mu\text{g}/\text{día}$ (Schrauzer, 2002).

Esta concentración de litio podría estar provista de la ingesta de alimentos y el agua que contienen concentraciones adecuadas de litio (Kostik *et al.*, 2014). No obstante, los requerimientos de litio pueden ser mayores para niños, lactantes, después de un esfuerzo físico, y en personas con deficiencias renales (Schrauzer, 2002).

Por el contrario Mataix y Llopis (2013) mencionan que no se conocen los requerimientos de litio, no habiendo sido posible establecer aún las correspondientes ingestas recomendadas.

2.3.6 Deficiencia e impacto toxicológico del litio

Anke *et al.* (2005), citados por Schrauzer (2002), demostraron que las dietas pobres en litio presentan una influencia negativa en el consumo de alimentos, crecimiento del organismo, propiedades de la piel, rendimiento de la reproducción, producción de leche, mortalidad y algún tipo de actividad enzimática, principalmente de las enzimas del ciclo del ácido cítrico, la glucólisis y del metabolismo del nitrógeno.

La deficiencia de litio provoca anomalías en la conducta, estudiadas en camadas de ratas (Zaldivar, 1980, citado por Zarse *et al.* 2011). Dawson *et al.* (1970); Dawson *et al.* (1972), citados por Schrauzer (2002), reportaron estudios donde demostraban la evidencia que relaciona la ingesta baja de litio con un comportamiento alterado y agresividad en los seres humanos. Los autores, compararon las tasas de ingreso hospitalario y las tasas de homicidio entre los años 1967 a 1969 con las concentraciones de litio en muestras de agua potable y en muestras de orina obtenidas de 24 sitios del estado de Texas. Las asociaciones inversas significativas más altas con niveles de litio en agua se observaron con los primeros ingresos en hospitales psiquiátricos para los trastornos de psicosis, neurosis y de la personalidad. El orden decreciente de magnitud de las asociaciones era la neurosis, esquizofrenia, psicosis, primera admisión, todos los ingresos, la personalidad, el homicidio y admisiones secundarias. Las concentraciones de litio en orina mostraron estadísticamente la mayoría de asociaciones inversas significativas con el diagnóstico de esquizofrenia.

Según Torres *et al.* (2016), el litio ejerce actividad antidepresiva en concentraciones superiores a 0.8 mEq/L. Mataix y Llopis (2013), dando una

explicación al cambio de comportamiento indican que el efecto tranquilizante del litio se debe a que produce un acúmulo de GABA en el cerebro. Anke *et al.*(1981), citado por Nielsen (1998) mencionan que la deficiencia de litio (menos que 1.5 mg/kg de dieta) según informes en estudios realizados a cabras, se traduce en la fertilidad deprimida, peso al nacer, esperanza de vida y la actividad alterada de varias enzimas del hígado y la sangre. Por su parte Patt *et al.* (1978), y Pickett & O'Dell (1992) citados por Nielsen (1998) indican que la deficiencia de litio en las ratas (5 a 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de dieta) aparentemente la fertilidad es deprimida, peso al nacer, tamaño de la camada y el destete.

Schrauzer y Shrestha (1990) mencionado por Schrauzer (2002), observaron asociaciones estadísticamente muy significativas inversas ($p=0.005$ a 0.01) entre los niveles de litio de agua y las tasas de homicidios, suicidios y violación forzada; asociaciones inversas significativas ($p=0.005$ a 0.01), también se observaron con las tasas de arresto por robo y hurto, posesión de estupefacientes en menores de edad.

En un estudio posterior Schrauzer *et al.* (1992) citado por Schrauzer (2002), encontraron niveles medios de litio en el cabello en delincuentes violentos encarcelados en el estado de California encontrándose 0.028 ± 0.029 $\mu\text{g}/\text{g}$, significativamente inferior al 0.099 ± 0.126 $\mu\text{g}/\text{g}$ observado en el cabello de los no encarcelados (grupo control), aunque esto no establece una relación causal, ya que los pacientes de diálisis se acercan a los niveles de carencia, demostrándose que la deficiencia de litio no sólo puede ser causado por el bajo consumo, sino por ciertas enfermedades.

Zarse *et al.* (2011), concluyeron sobre los hallazgos encontrados en el estudio sobre bajas dosis de absorción de litio que promueve la longevidad en

los seres humanos y metazoos en la prefectura de Oita de Japón, que la exposición a bajas dosis, y a largo plazo con litio puede ejercer funciones de antienviejamiento y sin ambigüedades disminuye la mortalidad en especies distintas de evolución, sugiriendo que la exposición de litio en agua potable se relaciona con los patrones de riesgo de suicidio y con la reducción de la mortalidad general en los seres humanos independientes del riesgo de suicidio. Sin embargo, Kapusta y König (2015) señalan que esta investigación queda pendiente para demostrar con pruebas de causalidad, los efectos de mortalidad, además de reorientar los efectos neuroprotectores en otros trastornos psiquiátricos y neurológicos antes que las suicidas.

En un estudio controlado con placebo con ex consumidores de drogas, de 24 personas, divididos aleatoriamente en dos grupos, uno recibió 400 µg de litio por día y el otro placebo durante cuatro semanas, todas las personas completaron cuestionarios de prueba de ánimo. Los resultados en el grupo que se le administraba litio, el estado de ánimo fue positivo aumentando constantemente durante las cuatro semanas de suplementación, específicamente en las categorías de felicidad, amistad y energía, mientras que el grupo placebo, los niveles de humor no mostraron cambios consistentes, las puntuaciones de felicidad disminuyeron (Schrauzer y Vroey, 1994).

El litio utilizado en el tratamiento bipolar, está clasificado como teratogénico en la (Categoría D) por la FDA - Food and Drug Administration, y al parecer este mineral aumenta el riesgo de abortos involuntarios y la prematuridad, así como bocio fetal e hipotiroidismo según los estudios realizados por Diav-Citrin *et al.* (2014); Gentile, (2012); Oyebode *et al.* (2012); Granjean y Aubry (2009); Cohen *et al.* (1994) citados por Harari *et al.* (2015).

Según Mataix y Llopis (2013), mencionan que no se conocen los límites máximos tolerables, sobrepasados los cuales se producen efectos tóxicos. La toxicidad del litio parece estar facilitada con las dietas bajas en sodio. En este último sentido, lo que es objeto de atención es que las dosis de litio utilizadas en enfermedades psiquiátricas son muy elevadas, y por tanto debe considerarse la posible toxicidad al menos a largo plazo.

Las sales de litio, a pesar de su estrecho margen terapéutico, siguen siendo, en la actualidad, el único tratamiento farmacológico aprobado por la FDA para el manejo de pacientes maníacos (Gómez-Jarado, 2012).

En el tratamiento de la manía son necesarias litemias en torno a 1.2 mEq/l. En los tratamientos preventivos, las cifras varían según autores: Schou recomienda 0.8 - 1 mEq/l, López Ibor Aliño 0.6-1 mEq/l. la tendencia actual a mantener en niveles más bajos, en torno a 0.5 mEq/l. Teniendo éstos datos en cuenta, la dosis diaria para un adulto normal de edad media oscila entre 20 a 50 mEq de litio, el equivalente a 700 – 1 800 mg, de carbonato de litio (Lafuente, 1991).

En el uso terapéutico no supervisado o indiscriminado de carbonato de litio puede producir ciertos síntomas tóxicos en el neuromuscular, sistema cardiovascular y digestivo, así como un grave daño renal (Precio y Heninger, 1964, mencionado por Aral y Vecchio-Sadus, 2008) e incluso causar la muerte (Litovitz et al., 1994, citado por Aral y Vecchio-Sadus, 2008). Ramsey y Cox (1982), citado por Sánchez (2013), indicaron que en algunos pacientes tratados con litio se desarrollaron aparentemente defectos permanentes en la capacidad renal de concentración. Otros estudios con numerosos pacientes han concluido que el litio aunque sea administrado por muchos años no produce cambios en

la filtración glomerular. Schou ha afirmado que después de más de 35 años de uso de litio en psiquiatría, ni un solo caso de insuficiencia renal se ha observado, que pueda ser asignado ciertamente a la terapia con litio (Sanchez, 2013).

En un estudio realizado por Vestergaard *et al.* (1988), mencionado por Sánchez (2013), el 75% de los pacientes tratados con litio ganaron peso, aumentando en 4 kg menos al 2% de los pacientes ganaron más de 20 kg, no encontrándose correlación entre ganancia de peso y variables como dosis de concentración sérica.

El litio terapéutico no debe exceder de 11.1 mg/L Li y debe ser monitoreado cuidadosamente. Sin embargo los pacientes en tratamiento con litio a largo plazo pueden sufrir de efectos neurotóxicos graves mientras que las concentraciones séricas de litio normales (Stern, 1995, citado por Aral y Vecchio-Sadus, 2008), por su parte, Schou *et al.* (1988) citado por Sanchez (2013), señalan que el tratamiento prolongado con litio, con concentraciones séricas de 0.68 meq/l, no afecta significativamente el funcionamiento glomerular.

La acumulación de litio en la glándula tiroides, en el caso de ingestiones excesivas por tratamientos terapéuticos, conduce a un hipertiroidismo. Las causas de intoxicación se cree están en relación con el balance de sodio, con la excepción de la ingesta masiva del medicamento, las condiciones que disminuyen el sodio permiten el aumento de litio, por ejemplo la deshidratación, las dietas pobres de sodio o la administración de ciertos diuréticos (Lafuente, 1991). En ancianos puede producir intoxicación más seria que en jóvenes, existiendo el riesgo de que se diagnostiquen mal los síntomas de intoxicación

que se confundan con problemas propios de la edad (Salzman, 1982, mencionado por Sánchez, 2013).

Recientemente, Harari *et al.* (2015) en el estudio de la exposición ambiental del litio durante el embarazo y el tamaño fetal en los Andes Argentinos, asociaron la exposición de litio a través del agua potable, con el tamaño fetal y esto parecía ser iniciado en la gestación temprana, teniendo una relevancia en la salud pública, sin embargo los autores mencionan que es necesario confirmar estos hallazgos con estudios en mujeres embarazadas y con tratamiento de litio.

2.4 PROCESOS AGROINDUSTRIALES DE LA QUINUA

2.4.1 Desaponificado

El contenido de humedad del fruto a la cosecha es de 14.5 % (Gallardo *et al.*, 1997, citado por Mujica *et al.*, 2001a).

El pericarpio del grano de quinua contiene saponinas, lo que le da un sabor amargo. Los métodos de eliminación de saponinas pueden clasificarse en métodos húmedos que son los tradicionales empleados por los campesinos y amas de casa, donde los granos se lavan haciendo fricción con las manos o a veces con ayuda de una piedra. A nivel industrial se han diseñado equipos lavaderos de quinua. Por el contrario el método seco consiste en la utilización de máquinas pulidoras de cereales para eliminar saponina. Este método es más económico que el anterior pero su desventaja es que no logra eliminar toda la saponina (Repo-Carrasco, 1998).

Es por esta razón, el método más recomendado para obtener quinua perlada es el método combinado, con este método primero se descarifica

ligeramente la quinua, eliminando el mayor porcentaje de saponina, por un periodo adecuado (1Kg en 12 segundos), luego se lava brevemente durante 8 minutos para eliminar el remanente de saponina y se escurre durante 10 minutos, seguidamente, con un ligero enjuague al grano, sin exponer excesivamente a la humedad se procede al secado. Con el lavado breve los costos de secado son menores, y con el descarificado previo, la concentración de saponina en el agua de lavado es menor, lográndose niveles de saponina entre 0.06% - 0.12%, siendo apto para el consumo humano, pudiendo ser consumida como grano entero (quinua perlada), o procesada en diferentes formas (Repo-Carrasco, 1998; Mujica *et al.*, 2006).

Quinua perlada

La quinua perlada es el producto obtenido, después de los procesos de escarificado, lavado y secado en condiciones inocuas. Para ello, la quinua se somete al paso de diferentes máquinas como son, despedradora y seleccionada, donde se eliminan pajas, polvo y granos de quinua muy pequeñas, seguidamente pasa al escarificador donde se elimina la cáscara, quedando la saponina en la base de la máquina, posteriormente se hace un lavado con agua corriente frotando y enjuagando la quinua hasta que no tenga espuma, seguidamente se seca al medio ambiente teniendo cuidado de que no germine la quinua, para ello debe removerse constantemente, para luego empacar y almacenar (Mujica *et al.*, 2006).

La saponina le da el sabor amargo a la quinua. Este compuesto se concentra en la parte externa del grano o más propiamente dicho en el pericarpio. Previo al consumo, la saponina debe ser removida mediante métodos apropiados (Bonifacio, 2006)

2.4.2 Molienda

La molienda de los cereales es una práctica muy antigua. Su objetivo es hacer que los cereales resulten más agradables y más apetecibles como alimento. Implica la eliminación del material llamado salvado (el pericarpio, las cubiertas de la semilla, la epidermis nuclear y la capa de aleurona), además, generalmente se elimina el germen por ser relativamente rico en aceite, lo cual provoca que el producto se enrancie más rápido. El salvado y el germen son relativamente ricos en proteína, vitaminas B, sustancias minerales y grasas. Como resultado de la molienda el producto gana ante el paladar, pero pierde en valor nutritivo (Repo-Carrasco, 1998).

La molienda seca, separa fundamentalmente las partes anatómicas del grano; la molienda húmeda hace lo mismo pero avanza un paso más y separa algunas de las partes en sus constituyentes químicos. Los productos obtenidos son: almidón, proteína, aceite y fibra; la molienda húmeda se utiliza principalmente para la obtención del almidón de maíz, así como de otros cereales (Repo-Carrasco, 1998).

En el caso de la quinua, para su molienda se utiliza la quinua perlada como materia prima, y pasa por un proceso de molienda directa (artesanal) o indirecta (convencional). La molienda artesanal es practicado por el habitante rural andino (altiplano Peruano) desde tiempos inmemorables, los granos al estado natural, previamente lavados (sin saponina) es molido mecánicamente en molinos artesanales denominada “quna”, la harina es gruesa y usada inmediatamente en la alimentación, en cambio, la molienda convencional se hace a partir de quinua perlada (sin saponina) en molinos específicos y su uso es en la alimentación y agroindustria (Mujica *et al.*, 2006).

Harina de quinua

Este producto se obtiene, al someter a molienda los granos de quinua previamente libres de impurezas y desaponificados ya sea por vía húmeda o seca, en un molino de martillo a 80 mallas, lo que permite la finura del producto acabado, seguidamente se tamiza, envasa y almacena. Para obtener harina de alta calidad con similares características granulométricas similares a las industriales se vuelve a tamizar en mallas de diámetro más pequeñas (Mujica *et al.*, 2006).

El rendimiento harinero de quinua perlada, considerada como harina integral, varía de acuerdo a la variedad entre 77.4 % (Llerena, 1973, mencionado por Mujica *et al.*, 2006) hasta 83% (Briceño y Scarpati, 1982, citado por Mujica *et al.*, 2006); sin embargo Marca (2004), registra 60 % en la variedad Witulla, en la variedad Achachino, Kamiri, Amarilla Marangani y Salcedo INIA hasta 85%. Según Moreyra y Vargas (1992) el rendimiento en las variedades Sajama y Kancolla es 80% y 75% respectivamente. Repo-Carrasco (1992) obtuvo un rendimiento de harina para quinua lavada de 60% y para quinua precocida 63.7%.

La característica física y química de la harina obtenida por molienda artesanal se desconoce, generalmente, es harina gruesa de color blanco opaco con relativo contenido de saponina. La harina de quinua perlada es de color blanquecino, sin embargo, cuando el grano de quinua es sometido a lavado y acondicionado con temperatura y agua el color es oscuro debido a reacciones de oxidación (Briceño y Scarpati, 1980, citado por Mujica *et al.*, 2006).

Según Repo-Carrasco (1992), los resultados del análisis proximal de harina, expresados en porcentaje la humedad que presenta la quinua es de 12.21, proteínas 12.68, grasa 5.31, fibra 3.50, ceniza 2.57 y carbohidratos 63.73, además, la materia seca evidencia fibra insoluble 5.31 y fibra soluble 2.49 con una fibra dietética final (FDF) 7.80. Marca (2004) menciona que el pH varía de acuerdo a la variedad de 6.0 a 7.0.

Actualmente, las perspectivas del uso de la harina de quinua perlada en la alimentación y agroindustria es muy prometedor, ya que el uso tiene potencial en la elaboración de productos de panificación y subproductos (pasteles, galletas, etc), pastas (fideos y afines), bebidas (refrescos y chicha), etc. La mezcla de harinas crudas: quinua-kiwicha-frejol (61-19-20) y quinua-kañihua-habas (75-15-10) para papillas y bebidas en la alimentación de niños de 2 a 5 años, preescolar o ablactancia, es una alternativa muy promisoría para disminuir la desnutrición infantil (Repo-Carrasco, 1992; Mujica *et al.*, 2006).

2.4.3 Extruido

La extrusión de alimentos es un proceso en el que un material (grano, harina subproducto) es forzado a fluir, bajo una o más de una variedad de condiciones mezclado calentamiento y cizallamiento, a través de una placa/boquilla diseñada para dar forma o expandir los ingredientes (Gortatti, 2000).

La extrusión es una técnica que consiste en someter a un producto o una mezcla más o menos hidratada, a un calentamiento bajo presión haciéndola pasar a través de un tornillo de Arquímedes situado en un cilindro caliente, y terminado en una hilera con características deseadas. El producto

así tratado sufre primeramente una cocción debido a la humedad, la temperatura, la presión y la salida de la hilera se somete a una fuerte descompresión, lo que confiere un aspecto hinchado. Esta operación modifica simultáneamente la textura, la calidad organoléptica y el color del producto (Adrian y Frangne, 1990).

Las interacciones proteína-lípido-almidón, pueden tener un rol significativo durante el proceso de cocción extrusión HTST (High temperatura short time) en una matriz carbohidratos, gluten, los gránulos de almidón están incrustados en una capa fina de proteínas de gluten, la amilasa puede formar complejos con los ácidos grasos libres y el aceite puede reducir la desnaturalización de la proteína, la expansión y la firmeza de la textura de los extruidos (Hoct y Izzo, 1992).

La cocción por extrusión de producto alimenticios requiere la aplicación de calor por un tiempo suficiente para completar las reacciones deseadas, usualmente la gelatinización de almidones; el calor puede ser agregado por convección o conducción (Miller, 1991).

Quinua extruida

La quinua se puede extruir sola o combinada en mezclas. El proceso de extrusión combinada abarca los siguientes pasos: formulación de mezclas, premezclado y acondicionamiento, cocción, extrusión, producto final y embolsado (Mujica *et al.*, 2006).

Los parámetros de cocción-extrusión (zona de alta presión) varía de 150°C (Hurtado de Mendoza, 1996; citado por Luque y Chaiña, 2002) a 160°C (Marca, 2004) con 350 a 400 rpm por un lapso de 5 a 10 seg. y 1.2 atm de presión. La masa es extruida por los orificios de la boquilla de máquina y cortada a la salida por la cuchilla rotatoria para obtener la forma deseada del producto final (Mujica *et al.*, 2006).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ÁMBITO O LUGAR DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el distrito, provincia y departamento de Puno, entre las coordenadas geográficas 13°00'00'' y 17°18' latitud sur y 68°48'46'' y 71°29'18'' latitud oeste del meridiano de Greenwich a 3 827 m.s.n.m. La parte experimental se realizó en las siguientes instalaciones:

- Planta de producción industrial Molinera Andina de la ciudad de Puno.
- Planta de la empresa Agroindustrias Mega Grano de la ciudad de Puno.
- Laboratorio de evaluación nutricional de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Laboratorios de servicios de la Universidad del Azuay Ecuador.

3.2 MATERIA PRIMA

La materia prima empleada tuvo un peso de 4 kilogramos de granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), variedad INIA 420 Negra Collana,

adquirido del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA Estación experimental ILLPA Puno, y 4 kilogramos del ecotipo “Ayara” *Chenopodium quinoa ssp. melanospermum* Hunz (pariente silvestre) procedente de la zona circunlacustre del distrito de Acora, Provincia de Puno, adquirido de la Asociación de productores de Santa Rosa.

3.3 EQUIPOS Y MATERIALES

3.3.1 Maquinarias, equipos e instrumentos utilizados en el procesamiento

- Molino de martillo de 80 mallas
- Equipo Extrusor de tornillo simple modelo KOYOP 206J con soplete de gasolina.
- Balanza electrónica
- Termómetro de contacto PCE-ST 1
- Cronómetro
- Selladora TOUGH-N-S-SEAL Modelo M-300
- Mesa de trabajo con superficie lisa
- Jarras medidoras de plástico

3.3.2 Equipos y material instrumental utilizados para análisis fisicoquímico

- Espectrofotómetro UV-Visible Thermo Scientific EVOLUTION 60
- Espectrofotómetro de Absorción atómica Perkin Elmer 3110

- Equipo Micro Kjeldahl
- Equipo Soxhleth
- Mufla (Horno de incineración)
- Balanza analítica PCE-LSM
- Potenciómetro digital SCHOTT Generate
- Estufa
- Balones de digestión
- Campanas de desecación
- Erlenmeyer con refrigeración
- Vasos de precipitado
- Pipetas
- Papel filtro
- Crisoles, matraces, fiolas y coccinillas

3.3.3 Reactivos para determinar la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio

- Radical DPPH, 2,2-Difenil-1-picrilhidrazilo
- Etanol al 95 %
- Agua destilada
- Ácido clorhídrico 3M

3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1 Determinación de la Capacidad Antioxidante DPPH

Para la determinación de la capacidad antioxidante, se utilizó el radical DPPH 2,2-Difenil-1-picrihidrazilo. Esta es una reacción colorimétrica que se mide utilizando un espectrofotómetro UV-Visible. Modo: Fixed y longitud de Onda: 517 nm.

Primeramente, se preparó la muestra basado en la técnica AOAC Official Method 2012.04 Antioxidant Activity in Foods and Beverages, pesando 10 gramos de muestra molida, posteriormente se adicionó 100 ml de etanol al 95%, y se licuó durante 5 minutos. Posteriormente, se colocó en un Erlenmeyer y dejó reposar por 10 minutos, Se tomó 10 ml de la muestra, por triplicado y se centrifugó por espacio de 7 minutos a 3 500 rpm.

Se preparó, las siguientes soluciones:

- a). 500 ml de solución de 40 ppm de DPPH en etanol
- b). Blanco del equipo: solución 2:1 etanol agua
- c). Solución A 300 ppm de la muestra
- d). Solución B 100 ppm de la muestra
- e). Solución C 50 ppm de la muestra
- f). Solución D 25 ppm de la muestra.
- g). Blanco de la muestra 0.75 ml de la solución a con 1.5 ml de etanol.
- h). Patrón de referencia 1.5 ml de DPPH con 0.75 ml de agua.

Luego, se adicionó a 0.75 ml de las soluciones A 1.5 ml de la solución de DPPH, se repitió el procedimiento con las soluciones B, C y D, enseguida, se dejó en la oscuridad por 30 minutos para que se produzca la reacción. Después, se midió la línea base con la solución Blanco del equipo y la absorbancia del patrón referencia. Transcurridos los 30 minutos, se midió la absorbancia de las A, B, C, y D. Con los datos obtenidos de la medición de absorbancia se construyó una curva de la concentración versus el porcentaje de decoloración de la muestra, este valor se obtuvo aplicando la siguiente formula:

$$\% \text{ Decoloración} = \left(1 - \left(\frac{\text{Absorbancia de la muestra}}{\text{Absorbancia del patrón de referencia}} \right) \right) * 100$$

Después, se realizó la regresión lineal de estos datos, para obtener la ecuación de la curva a aplicar. Con la ecuación obtenida se hizo el cálculo de la concentración necesaria para obtener el 50 % de decoloración, considerando las diluciones realizadas. Los resultados obtenidos se expresaron en $\mu\text{g/ml}$.

3.4.2 Determinación de litio

El Litio se determinó mediante la emisión Atómica en un espectrofotómetro de Absorción Atómica. Modo: Emisión atómica, Flama: Acetileno-Aire, Longitud de emisión: 670.8 nm, y con tiempo de integración: 5 segundos.

La preparación de muestra se realizó mediante la técnica AOAC Official Method 945.38 Grains, luego se calcinó 2 y 10 gramos de muestra molida en una capsula de porcelana en horno a 550°C durante 4 horas -o el tiempo necesario- hasta que el residuo de la calcinación sea completamente blanco.

Posteriormente se enfrió y adicionó 10 ml de HCL (ácido clorhídrico) 3M, se cubrió con un vidrio de reloj y se sometió a ebullición durante 10 minutos. Después, se enfrió y filtró en un balón de 50 ml, aforando con agua destilada. Se trabajó por cuadruplicado con las muestras para un correcto manejo de datos.

A partir de una solución patrón comercial de 1000 ppm, se preparó soluciones patrón de 0.1, 0.5, 1, 2.5 y 5 ppm. Previa verificación de las condiciones del equipo se midió la absorbancia de las soluciones patrón y la absorbancia de la muestra, enseguida, se calculó la ecuación de regresión lineal, utilizando los valores de absorbancia obtenidos al medir los patrones. Con la ecuación obtenida se reemplazó los valores de la absorbancia obtenidos de cada muestra para conocer la concentración.

3.4.3 Análisis fisicoquímico

Determinación de humedad

Para determinar la humedad primero se pesó un crisol y se agregó 5 g de muestra para luego, colocarlos en una estufa a una temperatura de 100 – 105°C por 6 horas. Por la diferencia de peso se obtuvo la humedad de la muestra y luego se llevó a porcentaje. La determinación de la materia seca se realizó por diferencia de peso inicial de muestra y el porcentaje de humedad hallada, obteniéndose de esta manera y en forma directa el porcentaje de la materia seca (A.O.A.C., 1994).

Cálculo:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso total} - \text{peso final}}{\text{peso de muestra}} \times 100$$

Determinación de ceniza

Para determinar la ceniza primero se colocó los crisoles limpios en un horno de incineración a 600°C durante una hora. Luego se trasladó los crisoles del horno al desecador. Se pesó tan pronto como sea posible para evitar la absorción de humedad. Luego se pesó por diferencia 1.5 a 2 g de muestra en un crisol de porcelana previamente tarado, después se colocó en un horno incinerador manteniéndolo a una temperatura de 600 °C durante 3 a 5 horas. Transcurrido el tiempo se trasladó el crisol al desecador, cuando se enfrió, se pesó el crisol y se registró el peso (A.O.A.C., 1994).

Cálculo:

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{peso de ceniza}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

Determinación de proteína total (Método micro Kjeldahl)

Se obtiene por destrucción de la materia orgánica de la muestra por acción del ácido sulfúrico en caliente, obteniéndose como resultado sulfato de amonio, el cual es destilado a amoniaco.

Primero se pesó 0.1 g de muestra, luego se agregó 1 g de catalizador de oxidación, para acelerar la reacción. Se limpió con un poco de agua el cuello del balón de digestión, seguidamente se agregó 2.5 ml de ácido sulfúrico concentrado y el colocado del balón en la cocina de digestión. La digestión termina cuando el contenido del balón es completamente cristalino.

Se colocó la muestra digerida en el aparato de destilación, luego se le agregó 5 ml de hidróxido de sodio concentrado e inmediatamente se conectó al vapor para que se produzca la destilación. Conectado el refrigerante se recibió el destilado en un Erlenmeyer de 125 ml conteniendo 5 ml de la mezcla de ácido bórico más indicadores de pH, la destilación termina cuando ya no pasa más amoníaco y hay viraje del indicador. Finalmente se procedió a la titulación con ácido clorhídrico valorado (aproximadamente 0.05 N) anotando el gasto (A.O.A.C., 1994).

Cálculo:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{\text{ml de HCl} \times \text{Normalidad} \times \text{Meq de } N_2 \times 100}{\text{gramos de muestra}}$$

$$\% \text{ de proteína} = \% \text{ de nitrógeno} \times 6.25$$

Determinación de grasa total (Método de Soxhlet)

El solvente hexano o éter, extrae la grasa de la muestra y la deposita en el matraz previamente tarado y por diferencia de peso se obtiene la cantidad de grasa de la muestra.

Para la determinación de la grasa por este método se utilizó una muestra deshidratada. Como primer paso se pesó 5 g de muestra, en un pedazo de papel filtro Whatman N° 2. Luego de haber colocado el paquete en el cuerpo del aparato Soxhlet, se agregó hexano destilado hasta que una parte del mismo sea sifoneado hacia el matraz, seguidamente se conectó a una fuente de calor (cocina eléctrica). El solvente (hexano o éter) al calentarse se evaporó (68° - 84.6°) y asciende a la parte superior del cuerpo del equipo. Allí se condensa por refrigeración con agua y cae sobre la muestra, regresando al

matraz por sifón, arrastrando consigo la grasa. El ciclo es cerrado y la velocidad de goteo del hexano fue de 45 a 65 gotas por minuto. Este proceso duró aproximadamente 3 horas, el matraz se retiró del aparato cuando este tuvo poco hexano-éter (momentos antes de que éste sea sifoneado desde el cuerpo). Después se evaporó el hexano remanente en el matraz en una estufa y se enfrió en una campana que contenía sustancias deshidratantes (A.O.A.C., 1994).

Cálculo:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{\text{peso del matraz con grasa} - \text{peso del matraz vacío}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Determinación de fibra cruda

La fibra cruda se determinó eliminando los carbohidratos por hidrólisis a compuestos más simples (azúcares) mediante la acción de los ácidos y álcalis débiles en caliente y las cenizas (por diferencia de peso después de la ignición de la materia fibrosa obtenida).

Pesado 1 g de muestra (exenta de grasa) en un vaso de 600 ml, se procedió a hervir durante 30 minutos con 200 ml de H₂SO₄ al 1.25 %. Luego se filtró y se lavó con agua destilada caliente hasta neutralizar la acidez.

Se añadió 200 ml de NaOH al 1.25 % y se procedió a hervir por 30 minutos más (cuidando durante todo este tiempo). Posteriormente se filtró al vacío en una cápsula de cerámica porosa, lavando con agua destilada caliente. Luego se puso en la estufa por 3 horas, transcurrido este tiempo se pesó, a este peso se le llamó P1. Luego se colocó a la mufla para eliminar la materia

orgánica y obtener las cenizas, pesando nuevamente, a este peso se llamó P2 (A.O.A.C., 1994).

Cálculo:

$$\text{Fibra neta} = P1 - P2$$

$$\% \text{ Fibra Cruda} = \frac{P1 - P2}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

Determinación de carbohidratos

También se le conoce con el nombre de Extracto libre de Nitrógeno, NIFEX o carbohidratos solubles. Este método consiste en restar 100, menos la suma de todos los valores encontrados anteriormente (Ceniza, Proteína total, Grasa y Fibra cruda). La diferencia hallada es el NIFEX en base seca que está constituida por los hidratos de carbono soluble (almidón polisacáridos) que son arrastrados junto con otras sustancias, durante las digestiones ácidas y alcalinas en la determinación de la fibra cruda (A.O.A.C., 1994).

Cálculo:

$$\% \text{ NIFEX} = 100 - (\% \text{ Ceniza} + \% \text{ Proteína} + \% \text{ Grasa} + \% \text{ Fibra})$$

Determinación de acidez total

La acidez indica el contenido total de ácidos presentes en la muestra y se expresa en porcentajes, generalmente en función del ácido que predomina. En muchos casos, para poder hacer comparaciones, se expresa en forma de ácido sulfúrico.

Como primer paso se pesó 5 g de pan, previamente triturado y secado en estufa, luego se le agrego 100 ml de agua destilada, se le centrifugo por espacio de 20 minutos, después se filtró (papel filtro) sobre una fiola.

Se tomó una alícuota de 25 ml del filtrado, en un Erlenmeyer, adicionándole de 2 a 3 gotas de fenolftaleína y finalmente se tituló con una solución estandarizada de hidróxido de sodio, hasta la aparición del color rosado en la alícuota (A.O.A.C., 1994).

Cálculo:

$$\% \text{ acidez} = \frac{V \times N \times \text{meq} \times 100}{M}$$

Donde:

V = volumen de álcali gastado en la titulación de una alícuota

N = normalidad del álcali

meq = valor del miliequivalente en gramos del ácido en el que se quiere expresar la acidez

M = gramos de muestra contenida en la alícuota.

Determinación de pH

El pH mide la acidez real, distinta de la acidez valorable, es decir, la cantidad de hidrogeniones activos (H^+) presentes, a diferencia de la acidez valorable que mide la cantidad de hidrógeno sustituible en la neutralización, es decir los ácidos presentes sin considerar la fuerza de éstos para liberar los iones H^+ .

Para determinar el pH del producto, primero se pesó 10 g de muestra, enseguida se procedió a moler en un mortero, para luego añadir 100 ml de agua destilada, con el fin de decantar el sobrenadante y filtrar. Finalmente se midió el pH en el potenciómetro digital (A.O.A.C., 1994).

3.5 METODOLOGÍA

3.5.1 Capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en la quinua perlada y harina de quinua

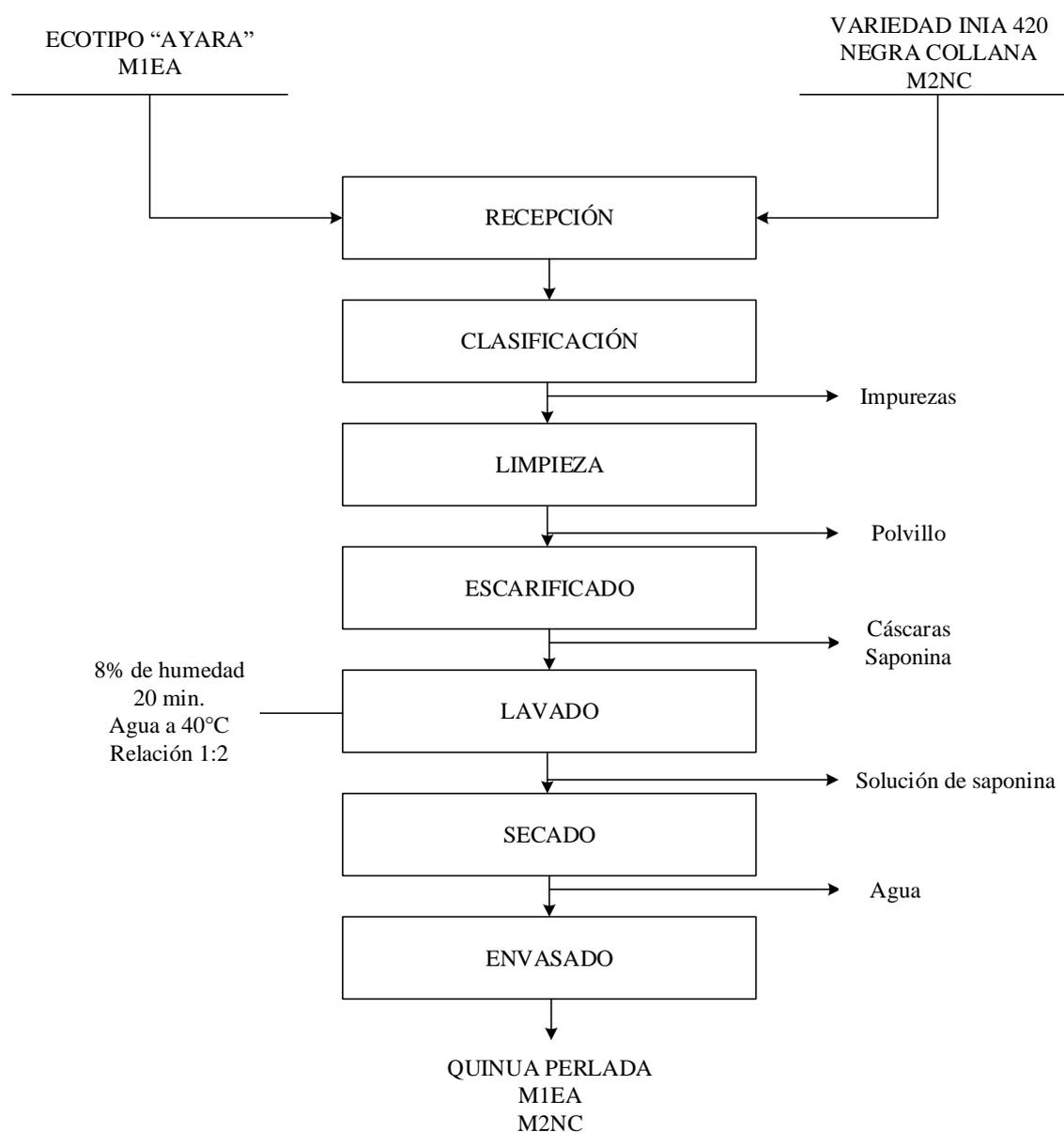
a). Quinua perlada

El método que se empleó para obtener quinua perlada fue el Método combinado, éste proceso ha sido recomendado por la Junta del Acuerdo de Cartagena (1983), citado por Repo-Carrasco (1998), según los experimentos donde se estudió la vía húmeda, seca y combinada. Obteniéndose los mejores resultados con el método combinado, con niveles de saponina entre 0.06 a 0.12%, apto para el consumo humano.

En la Figura 4, se muestra el flujo experimental para la obtención de quinua perlada de las dos muestras en estudio (Ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana).

FIGURA 4

FLUJO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE QUINUA PERLADA



A continuación se describe las operaciones correspondientes al flujo experimental para la quinua perlada.

Materia prima.- Para obtener quinua perlada se codificó el número de muestras del Ecotipo "Ayara" (M1EA) y la variedad INIA 420 Negra Collana (M2NC) con un peso de 4 kilogramos cada uno. La cantidad de quinua fue necesaria para el proceso de molienda y extruido.

Clasificación.- Los granos de quinua fueron clasificados según la forma de tamaño.

Limpieza.- Se eliminaron las impurezas tales como pajillas, piedrecillas, granos dañados, entre otros objetos extraños al grano de quinua.

Escarificado.- Se realizó esta operación mediante el uso de una máquina escarificadora, en el cual se levantó la capa externa del grano en el cual se alojaba el mayor porcentaje de saponinas.

Lavado.- Mediante el uso de recipientes, los granos de quinua se remojaron por un tiempo de 20 minutos, posteriormente se agitó manualmente y enjuagó con agua, con el objetivo de eliminar casi la totalidad de los restos de saponina que quedó, después del proceso de escarificado. Las proporciones de quinua y agua fueron 1:2 respectivamente.

Secado.- Esta operación tuvo como finalidad eliminar la gran parte del agua mediante evaporación. La temperatura promedio que se debe alcanzar es de 20°C (medio ambiente).

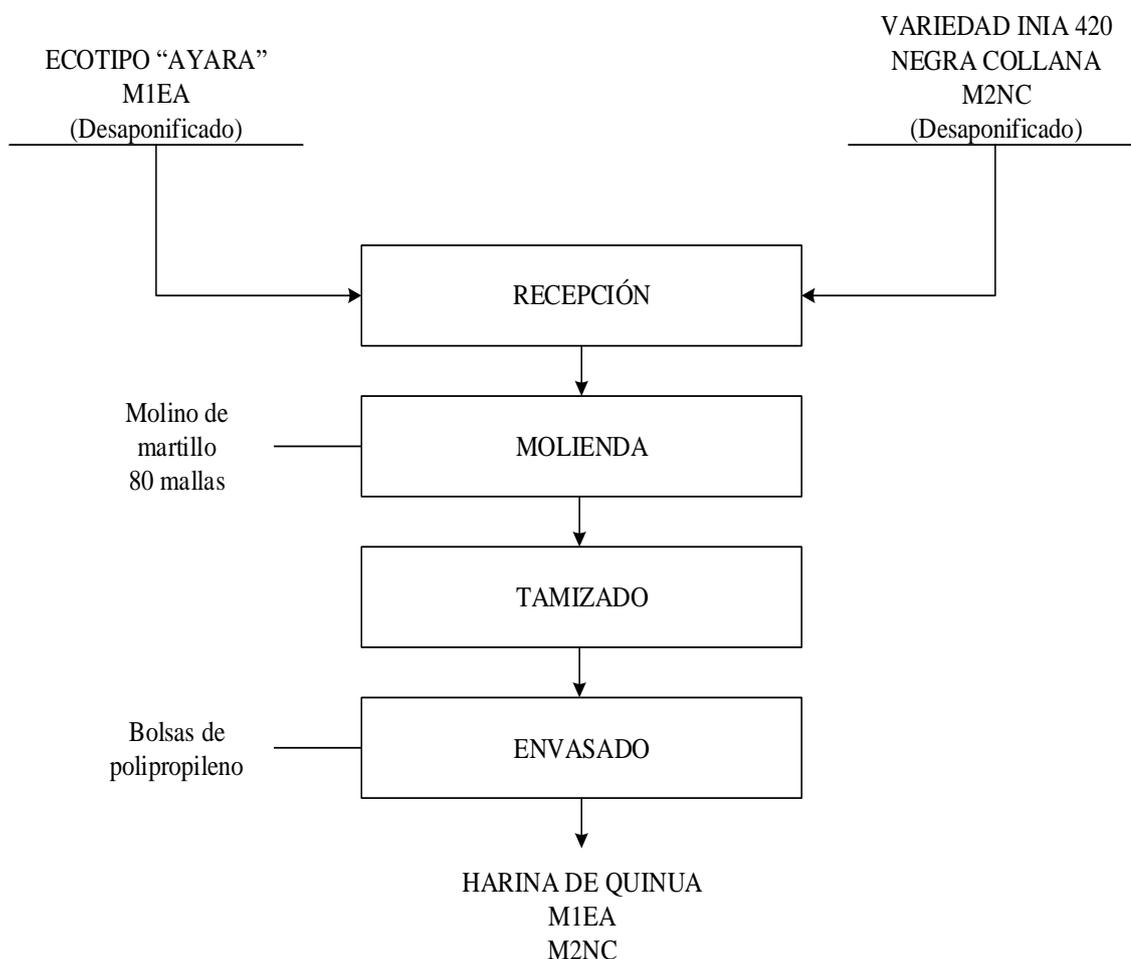
Envasado.- La quinua perlada fue envasada en bolsas de polipropileno para su adecuada conservación y traslado para los demás procesos.

b). Harina de quinua

Después del proceso de perlado (Figura 4) de las dos muestras de quinua: Ecotipo “Ayara” (M1EA) y la variedad INIA 420 Negra Collana (M2NC), se siguió el siguiente flujograma para la obtención de harina de quinua que se muestra en la Figura 5, Teniendo como referencia estudios de Ligarda *et al.* (2012).

FIGURA 5

FLUJO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE QUINUA



En seguida se describe el flujo de operaciones correspondiente a la obtención de harina de quinua.

Materia Prima.- Se tendrá como materia prima la quinua perlada obtenida anteriormente con un contenido de humedad aproximado entre 8 a 11 %.

Molienda.- Los granos de quinua fueron sometidos a molienda en un molino martillo con malla de 0.5mm, hasta obtener harina de quinua.

Tamizado.- Se procedió a separar la quinua molida en dos o más fracciones pasándola por un tamiz, cada fracción fue más uniforme en tamaño que la mezcla original.

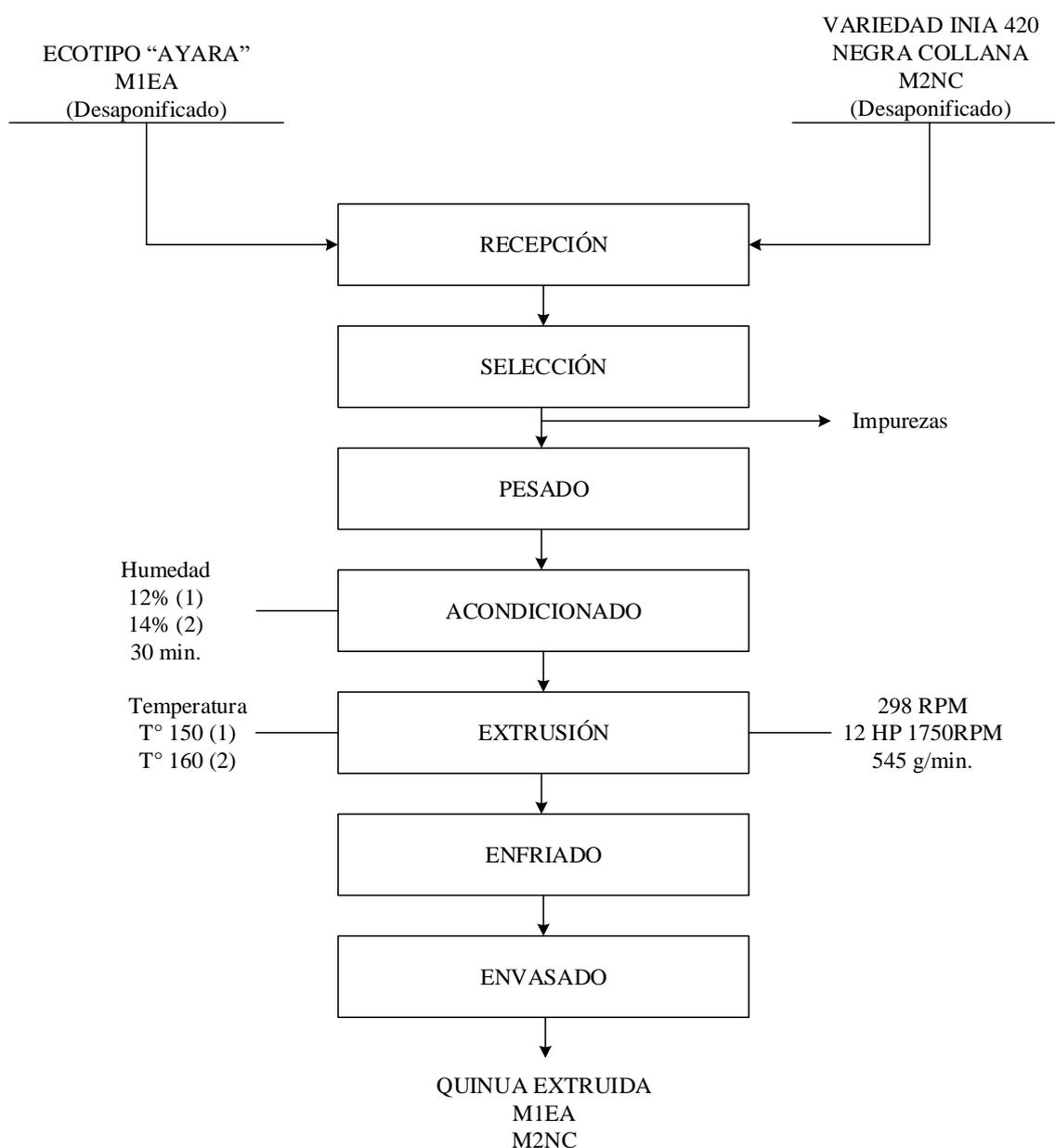
Envasado.- El producto obtenido “harina de quinua”, fue envasado en bolsas de polietileno biorentado de 30 micras de espesor de alta densidad a fin de protegerlo de una posible contaminación, que podría afectar su calidad y por ende alterar los resultados de laboratorio.

3.5.2 Efecto de la temperatura y humedad en la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio para la quinua extruida

En la Figura 5, se muestra la metodología seguida para la obtención de quinua extruida, para ello se utilizó las dos muestras de quinua: Ecotipo “Ayara” (M1EA) y la variedad INIA 420 Negra Collana (M2NC), distribuidos en ocho (8) tratamientos (Cuadro 8), a fin de evaluar el efecto de la temperatura y humedad en la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en la quinua extruida, a una humedad de 12% y 14% y el extruido a una temperatura de 150°C y 160°C, tomando en consideración estudios realizados por Hurtado de Mendoza (1996), citado por Luque y Chayña (2002); Marca (2004); Huanatico (2011); Zea (2011).

FIGURA 6

FLUJO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE QUINUA EXTRUIDA



A continuación se realiza la descripción de la metodología utilizada en el proceso de extruido de las dos muestras en estudio.

Materia Prima.- La materia prima utilizada fue la quinua perlada (Figura 4), metodología descrita en el acápite 3.5.1.

Selección.- Se procedieron a seleccionar los granos, eliminando aquellos que han sido dañados, a fin de no alterar el proceso.

Pesado.- Se procedió a pesar las muestras, con la finalidad de obtener muestras (08) homogéneas para su procesamiento.

Acondicionamiento.- Para la extrusión, se acondicionó la quinua en un rango de porcentaje de humedad entre 12% y 14%.

Extrusión.- Se utilizó un extrusor tornillo simple modelo KOYOP 206J con soplete de gasolina, teniendo como temperatura mínima 150°C y una máxima 160°C, la velocidad de giro del tornillo fue a 298 RPM con un motor de 12 HP y una velocidad de motor de 1750 RPM, a una velocidad de extrusión de 545 g/min. aproximadamente.

Enfriado y embolsado.- Posterior a su enfriado a temperatura ambiente, se procedió a embolsarlo en material de polipropileno para su mejor conservación y facilidad de uso para su manipulación en los análisis de laboratorio.

3.5.3 Características fisicoquímicas de la quinua en tres procesos agroindustriales

A fin de determinar las características fisicoquímicas en el proceso de perlado, molienda y extruido, se utilizó muestras de cada proceso (Figura 4, 5 y 6), y se evaluó en cuanto a humedad, proteína, cenizas, grasa, fibra, carbohidratos, energía, materia seca, acidez (expresado en ácido sulfúrico) y pH, metodología descrita por A.O.A.C. (1994).

3.6 DISEÑO ESTADÍSTICO

3.6.1 Capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en la quinua perlada y harina de quinua

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los grupos experimentales en cuanto a capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en la quinua perlada y harina de quinua de las dos muestras en estudio, se utilizó la prueba estadística de t-student, prueba descrita por Ibañez (2003).

$$t \text{ calculada: } |t_c| = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j}} \sim t_{\alpha} (n_i + n_j) - 2 \quad g.l.$$

$$\text{Desviación estándar de diferencia de promedios: } S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j} = \sqrt{S^2 \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$$\text{Varianza combinada: } S^2 = \frac{(n_i - 1)S_i^2 + (n_j - 1)S_j^2}{(n_i + n_j) - 2}$$

Donde:

S_i^2 = Varianza de la primera muestra.

S_j^2 = Varianza de la segunda muestra.

n_i = Número de datos de la primera muestra.

n_j = Número de datos de la segunda muestra.

\bar{X}_i = Promedio de datos de la primera muestra.

\bar{X}_j = Promedio de datos de la segunda muestra.

3.6.2 Efecto de la temperatura y humedad en la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio para la quinua extruida

Para determinar el efecto de la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en el proceso de extrusión del ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana, se utilizó el diseño factorial 2x2x2, por su utilidad en estudiar simultáneamente más de un factor, haciendo un total de ocho (8) tratamientos con tres (3) repeticiones cada uno.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta.

μ = Media general o parámetro común a todos los tratamientos.

A_i = Efecto del factor ecotipo – variedad.

B_j = Efecto del factor temperatura.

C_k = Efecto del factor humedad.

$(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el factor ecotipo - variedad y temperatura.

$(AC)_{ik}$ = Efecto de la interacción entre el factor ecotipo - variedad y humedad.

$(BC)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre el factor temperatura y humedad.

$(ABC)_{ijk}$ = Efecto de la interacción entre el factor ecotipo - variedad, temperatura y humedad.

ε_{ijk} = Error aleatorio.

Variables independientes:

- Temperatura.
- Humedad.
- Ecotipo y variedad.

Variables dependientes

- Capacidad antioxidante
- Disponibilidad de litio
- Características fisicoquímicas

CUADRO 8

MATRIZ DE DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL EXTRUIDIDO

Tratamiento	Ecotipo y variedad	Temperatura	Humedad	M	T°	H°
1	-	-	-	M1EA	150	12
2	-	-	+	M1EA	150	14
3	-	+	-	M1EA	160	12
4	-	+	+	M1EA	160	14
5	+	-	-	M2NC	150	12
6	+	-	+	M2NC	150	14
7	+	+	-	M2NC	160	12
8	+	+	+	M2NC	160	14

3.6.3 Características fisicoquímicas de la quinua en tres procesos agroindustriales

El análisis estadístico empleado para evaluar las características fisicoquímicas entre la el ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana, fue el Diseño Completamente al Aza (DCA), sometiéndolo a un análisis de varianza, y pruebas de comparación por DUNCAN, para ello se empleó el programa SAS System versión 9.

3.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

En el Cuadro 9, se muestra el diseño experimental seguido en el presente trabajo de investigación.

CUADRO 9
DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LOS TRES PROCESOS AGROINDUSTRIALES

OPERACIONES	DESAPONIFICADO Y SECADO			EXTRUSIÓN
	RECEPCIÓN	PERLADO	MOLIENDA	
Materia Prima	M1 Ecotipo	○	○	
Quinua (pariente silvestre y variedad)	M2 NC	○	○	
	M1 EA	○	○	
	M2 NC	○	○	
	M1EA (T1H1)			
	M2EA (T1H2)			
	M3EA (T2H1)			
	M4EA (T2H2)			
	M5NC (T1H1)			
	M6NC (T1H2)			
	M7NC (T2H1)			
	M8NC (T2H2)			
Análisis		Capacidad Antioxidante Disponibilidad de Litio Fisicoquímico	Capacidad Antioxidante Disponibilidad de Litio Fisicoquímico	Capacidad Antioxidante Disponibilidad de Litio Fisicoquímico
Controles	12 muestras	Lavado a 20 min. y 40°C Secado 12 horas a 18°C aprox. y 8% de humedad	Molino de martillo con 80 mallas.	T1 (150°C) T2 (160°C) H1 (12%) H2 (14%)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y DISPONIBILIDAD DE LITIO EN LA QUINUA PERLADA Y HARINA DE QUINUA

4.1.1 Capacidad antioxidante

a). Quinua perlada

En el Cuadro 10, se muestra los resultados del contenido promedio de la capacidad antioxidante, en donde el ecotipo Ayara presenta 1560 $\mu\text{g/ml}$ DPPH mayor a la variedad INIA 420 Negra Collana con 1056 $\mu\text{g/ml}$ DPPH encontrándose una diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) de acuerdo al análisis estadístico de grupos independientes por la prueba estadística de t-student (Anexo 1).

Por su parte, Huillca (2014), reportó 5.41 mMoles Trolox/g ms CUPRAC en la variedad INIA 420 Negra Collana y 5.86 mMoles Trolox/g ms CUPRAC para la variedad Rosada de Pasankalla. Tang (2015), realizó un estudio en quinuas comerciales originarias de Sudamérica adquiridas en Ontario, Canadá, encontrando en promedio 5.8 $\mu\text{mol TE/g}$ DPPH para la quinua negra, 4.8 $\mu\text{mol TE/g}$ DPPH en la quinua roja, y 4.7 $\mu\text{mol TE/g}$ DPPH en la quinua blanca.

CUADRO 10

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE QUINUA PERLADA ECOTIPO AYARA Y
VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

QUINUA PERLADA	
ECOTIPO AYARA	INIA 420 NEGRA COLLANA
1560 ± 5.82 IC ₅₀ µg/ml (DPPH)	1056 ± 4.84 IC ₅₀ µg/ml (DPPH)

Sin embargo, Miranda *et al.* (2011), al estudiar seis ecotipos de Chile, reportaron para el ecotipo Faro 461,89 g / ml DPPH (IC₅₀) siendo el valor más bajo de los ecotipos que estudiaron, y Acovinto presentó el contenido más alto con 3773,37 g / ml DPPH (IC₅₀). Por su parte Nsimba *et al.* (2008) reportaron datos entre 100 a 7500 mg/ml para ecotipos de Japón y de 300 a 15800 g/ml para ecotipos del altiplano Boliviano.

Al estudiar 13 muestras de quinua de color del Perú Abderrahim *et al.* (2015), reportaron una variación de la capacidad antioxidante entre 119.8 ± 2.8 mmol TE/Kg a 335.9 ± 12.2 mmol TE/Kg, correspondiente a la quinua real rosado y a la Pasankalla rojo, respectivamente. Repo-Carrasco y Encina (2008), de 15 variedades procedentes del departamento de Puno, encontraron un valor mínimo en la variedad PIQ031179 con 117.49 ± 7.90 µg Trolox/g DPPH, y un valor máximo en la variedad PIQ031046 con 2400.55 ± 167.91 µg Trolox/g DPPH, asimismo observaron que la variedad Kcoyto presenta 1512.37 ± 28.33 µg Trolox/g DPPH.

Dini *et al.* (2010), estudiaron la capacidad antioxidante en la quinua dulce (Ambato, Ecuador) y amarga (CIP Perú) encontrando para la quinua

dulce 28.7 ± 2.1 DPPH $\mu\text{mol TE}/10$ g raw seeds y en la quinua amarga 67.1 ± 6.1 DPPH $\mu\text{mol TE}/10$ g raw seeds. Asimismo, Vicentin *et al.* (2013), encontraron un alto contenido de capacidad antioxidante de 313.25 ± 10.68 $\mu\text{g/ml}$ DPPH (IC_{50}) en la quinua BRS Piabiru, cultivar mejorado que se adapta en el centro – oeste del Brasil, éste valor es inferior al encontrado en el ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana.

En Eslovaquia se estudió cinco cultivares de quinua del centro de Investigación de producción vegetal por Vollmannova *et al.* (2013), siendo la capacidad antioxidante total para el cultivar Temuco 7.38 ± 0.04 , Quinua 2.60 ± 0.98 , Yulai 10.80 ± 0.06 , Carmen 10.79 ± 0.08 y Ccankolla 12.40 ± 0.10 expresado en mmol TE/kg DM.

Por su parte, Riva (2010), reportó en la capacidad antioxidante de la variedad Salcedo INIA 1498.25 ± 9.18 $\mu\text{g Trolox eq/g}$ ms. Recientemente, Carciochi *et al.* (2014), realizó un estudio de la capacidad antioxidante de quinua perlada procedente del mercado local en Francia, encontrando 13.61 ± 1.10 % DPPH.

En cambio en la cañihua, Tacora *et al.* (2010), reportaron en la variedad Illpa 2174 ± 33.32 $\mu\text{g Trolox eq g}^{-1}$ ms. DPPH y para la variedad Cupi presentó 1667 ± 120.85 $\mu\text{g Trolox eq g}^{-1}$ ms DPPH de capacidad antioxidante.

b). Harina de quinua

En el Cuadro 11, se presenta los resultados obtenidos de la capacidad antioxidante de la harina de quinua ecotipo Ayara que presenta 1946 $\mu\text{g/ml}$ DPPH valor superior a la variedad INIA 420 Negra Collana que contiene 1939 $\mu\text{g/ml}$ DPPH. De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis estadístico

de grupos independientes t-student (Anexo 2), no habiendo diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) entre los valores.

CUADRO 11

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE HARINA DE QUINUA ECOTIPO AYARA Y
VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

HARINA DE QUINUA	
ECOTIPO AYARA	INIA 420 NEGRA COLLANA
1946 ± 3.48 IC ₅₀ µg/ml (DPPH)	1939 ± 2.88 IC ₅₀ µg/ml (DPPH)

El valor encontrado en el ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana, es mayor a la harina de cáscara de mango (232.12 ± 5.62 IC₅₀ µL DPPH) encontrado por Jibaja (2014) fruta procedente de Sullana, Piura. En relación con las harinas de quinua de otras variedades y ecotipos, no se encontró estudios a la fecha.

Del Cuadro 10 y 11, capacidad antioxidante de la quinua perlada y harina de quinua respectivamente se observa un incremento para el ecotipo Ayara y para la variedad INIA 420 Negra Collana, este aumento es en gran medida al almacenamiento prolongado, donde exhiben fuertes propiedades antioxidantes, ya que al romper la cadena, la actividad secuestrante de oxígeno aumenta tal como lo menciona Kaur y Kapoor (2001), citado por Vásquez (2006).

4.1.2 Disponibilidad de litio

a). Quinua perlada

Los resultados del contenido de litio para la quinua perlada ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana, se presenta en la Cuadro 12, donde el ecotipo Ayara presenta 2.0245 ppm de litio, dato mayor al encontrado en la variedad INIA 420 Negra Collana con 1.4886 ppm litio.

De acuerdo al análisis estadístico de grupos independientes por la prueba estadística de t-student (Anexo 3), existe una diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) en la disponibilidad de litio para la quinua perlada entre el ecotipo Ayara y la variedad INIA 420 Negra Collana.

CUADRO 12

DISPONIBILIDAD DE LITIO EN QUINUA PERLADA ECOTIPO AYARA Y
VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

QUINUA PERLADA			
ECOTIPO AYARA		INIA 420 NEGRA COLLANA	
Resultado	Límites de detección	Resultado	Límites de detección
2.0245 ± 0.02 ppm	0.014	1.4886 ± 0.01 ppm	0.014

Los valores encontrados en el ecotipo Ayara para la quinua perlada son superiores al hallado por Vetter (2005) en hongos, dicho autor reportó el contenido de litio en 171 muestras de 38 especies de hongos comestibles de crecimiento común en Hungría, encontrando como valor mínimo 0.020 ± 0.001 ppm en la especie *Lepista nuda* y 1.800 ± 0.232 ppm en la especie *C.*

cornucopioides (L.) Pers. Esta desemejanza de valores se debe principalmente a que el contenido de litio en los alimentos está relacionado con la concentración de litio en el suelo donde se cultiva el alimento (Assunção *et al.* 2012) y las concentraciones de agua (Zarse *et al.*, 2011; Vetter, 2005). Asimismo, Kostik *et al.* (2014); Zaldivar (1980), citado por Zarse *et al.* (2011); Graças *et al.* (2009), y Schrauzer (2002), indican que los granos y vegetales son las fuentes principales de litio en los alimentos con aproximadamente 0.5 a 3.4 mg Li / kg de alimento o 430 y 2900 mg/día.

Graças *et al.* (2009), cuantificaron litio en pulpas de fruta del Brasil, encontrando en el Cupuaçu valores que oscilan entre 4.5 a 6.4 mg/100g de pulpa húmeda; en el Dão de 3.0 a 5.9 mg/100g de pulpa húmeda; para el Ingá concentraciones entre 1.44 a 5.65 mg/100g de pulpa húmeda; en la Melancia entre 2.9 a 4.3 mg/100g de pulpa húmeda y en uva 24.2 mg/100g de pulpa húmeda.

En productos lácteos el litio se encuentra en 0.50 mg Li/ kg, en la carne 0.012 mg Li/ kg (Felipe, 2015; Weiner 1991, mencionado por Aral y Vecchio-Sadus, 2008). Por su parte Kostik *et al.* (2014), reportaron 2.5 mg/Li en alimentos de origen animal, variando en un amplio rango según la dieta del animal, ya que las plantas presentan entre 0.5 a 2.0 ppm de litio según lo mencionado por Lambert *et al.* (1983) citado por Vetter (2005).

b). Harina de quinua

En el Cuadro 13 se presenta los resultados del contenido de litio para la harina quinua ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana, y el análisis estadístico de grupos independientes por la prueba estadística de t-student

(Anexo 4), en donde existe una diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) entre las dos muestras en estudio.

CUADRO 13

DISPONIBILIDAD DE LITIO EN HARINA DE QUINUA ECOTIPO AYARA Y
VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

HARINA DE QUINUA			
ECOTIPO AYARA		INIA 420 NEGRA COLLANA	
Resultado	Límites de detección	Resultado	Límites de detección
3.0130 ± 0.005 ppm	0.014	1.5339 ± 0.04 ppm	0.014

El contenido de litio en el ecotipo Ayara es 3.0130 ppm, ésta cantidad es superior a la variedad INIA 420 Negra Collana con 1.5339 ppm estos valores son mayores a los recomendados por para la ingesta provisional o cantidad diaria recomendada de 1 mg Li/día (1000 µg/día) para un adulto con una masa corporal media de 70 kg, el cual equivale a 14.3 µg/kg de peso corporal según Hager *et al.* (2000) citado por Kostik *et al.* (2014); Aral y Vecchio-Sadus (2008) y Schrauzer (2002), asimismo, el valor encontrado en las dos muestras estudiadas, es mayor a la ingesta mínima recomendada por Felipe (2015) con 0.1 mg/día.

La disponibilidad del litio en la molienda a diferencia de la quinua perlada, se debe posiblemente a la división y fraccionamiento del grano quedando al descubierto fragmentos más finos, haciendo posible cuantificar la totalidad del litio.

4.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y DISPONIBILIDAD DE LITIO PARA LA QUINUA EXTRUIDA

4.2.1 Efecto de la temperatura y humedad en la capacidad antioxidante

Los resultados de la capacidad antioxidante de la quinua extruida ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana, se muestran en el Cuadro 14, y en la Figura 7, se ilustra las diferencias entre los mayores valores hallados para cada tipo de quinua. Asimismo, el ANOVA y la comparación entre las muestras se presentan en el (Anexo 5).

CUADRO 14

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE QUINUA EXTRUIDA ECOTIPO AYARA Y
VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

QUINUA EXTRUIDA				
TRATAMIENTOS	ECOTIPO Y VARIEDAD	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE
				IC ₅₀ ug/ml (DPPH)
T1	M1EA	150	12	3077
T2	M1EA	150	14	3165
T3	M1EA	160	12	3603
T4	M1EA	160	14	3462
T5	M2NC	150	12	3241
T6	M2NC	150	14	3173
T7	M2NC	160	12	3468
T8	M2NC	160	14	3518

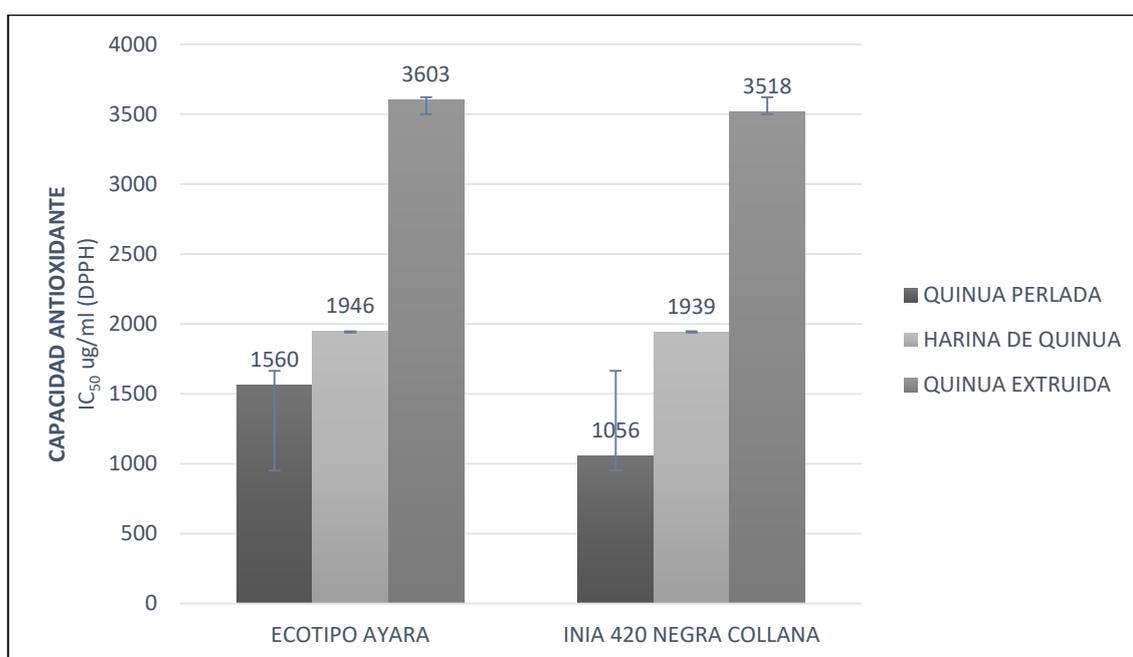
M1EA = Ecotipo Ayara, M2NC = INIA 420 Negra Collana

Analizando el Cuadro 14, se observa que el T3 (M1EA – Ecotipo Ayara) con una temperatura de 160°C y 12% humedad, presenta mayor contenido de capacidad antioxidante con 3603 µg/ml DPPH, seguido del T8 (M2NC – INIA 420 Negra Collana) con 3518 µg/ml DPPH a una temperatura de 160°C y 14% de humedad, observando que la temperatura influye considerablemente en la capacidad antioxidante, donde a mayor temperatura, mayor es el valor de la capacidad antioxidante para el ecotipo y la variedad. Este incremento en la capacidad antioxidante también se observada en los tres procesos agroindustriales (Figura 7), y podría tener relación en la reacción de Maillard descrito a consecuencia del tratamiento térmico (calor intenso) o almacenamiento prolongado, exhibiendo fuertes propiedades antioxidantes y aque al romper la cadena, la actividad secuestrante de oxígeno aumenta según lo descrito por Kaur y Kapoor (2001), citado por Vásquez (2006); Nicoli *et al.* (1999) de la misma forma, en estudios recientes, la ganancia en la actividad antioxidante coincidió con la formación de productos pardos de la reacción de Maillard.

Por su parte Abderrahim *et al.* (2012) manifiesta que el valor se incrementa, debido a que los carbonilos (átomo de carbono con un doble enlace a un átomo de oxígeno) unidos a proteínas, son identificados como un producto intermedio de la reacción de Maillard, no quedando aún claro su incidencia en el aumento de la capacidad antioxidante. En cambio, indica que la actividad de los antioxidantes está influida por la temperatura, la composición del alimento, la estructura del alimento y la disponibilidad de oxígeno.

FIGURA 7

EFFECTO DEL PERLADO, MOLIENDA Y EXTRUIDO EN LA CAPACIDAD
ANTIOXIDANTE DE LA QUINUA ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420
NEGRA COLLANA



Ecotipo Ayara (EA) y INIA 420 Negra Collana (NC). Para el Extruido se consideró los valores más altos de capacidad antioxidante de cada muestra: (EA = "T3" 160°C y 12% de humedad; NC = "T8" 160°C y 14% de humedad).

Según, Dini *et al.* (2010), indicaron que la capacidad antioxidante depende principalmente de compuestos fenólicos, flavonoides y compuestos carotenoides.

Los valores encontrados en el estudio, oscilan de 3077 $\mu\text{g/ml}$ DPPH a 3603 $\mu\text{g/ml}$ DPPH para el ecotipo Ayara, y en la variedad INIA 420 Negra Collana 3173 $\mu\text{g/ml}$ DPPH a 3518 $\mu\text{g/ml}$ DPPH. Por su parte, Dini *et al.* (2010) reportaron para la quinua dulce cocida (Ambato, Ecuador) 7.1 ± 2.1 $\mu\text{mol TE}/10$ g DPPH, y para la quinua amarga (CIP Perú) 26.0 ± 2.1 $\mu\text{mol TE}/10$ g DPPH.

Mientras, Riva (2010), para la quinua procesada (Tostado - cocción) variedad Salcedo INIA reportó $1220.50 \pm 10.86 \mu\text{g Trolox eq/g ms}$.

Tacora *et al.* (2010), al estudiar la capacidad antioxidante de dos variedades de cañihua (Illpa y Cupi) en el proceso de expandido, encontraron que a medida que la presión aumentaba, la capacidad antioxidante incrementaba, pasando en la variedad Illpa de $2537 \pm 135.33 \mu\text{g Trolox eq g}^{-1} \text{ ms DPPH}$ (120 Lbf.pulg⁻²) a $3211 \pm 9.72 \mu\text{g Trolox eq g}^{-1} \text{ ms DPPH}$ (160 Lbf.pulg⁻²) y para la variedad Cupi de $2677 \pm 62.95 \mu\text{g Trolox eq g}^{-1} \text{ ms DPPH}$ (120 Lbf.pulg⁻²) a $3089 \pm 39.33 \mu\text{g Trolox eq g}^{-1} \text{ ms DPPH}$ (160 Lbf.pulg⁻²).

En el caso del tostado de dos variedades de cañihua, a medida que incrementa la temperatura aumenta la capacidad antioxidante reportando para la variedad Illpa $1943 \pm 53.29 \mu\text{g Trolox eq g}^{-1} \text{ ms DPPH}$ (130 °C) incrementando a $2521 \pm 41.29 \mu\text{g Trolox eq g}^{-1} \text{ ms DPPH}$ (190 °C) y en la variedad Cupi de igual manera aumenta de $1481 \pm 39.01 \mu\text{g Trolox eq g}^{-1} \text{ ms DPPH}$ (130 °C) a $2342 \pm 22.7 \mu\text{g Trolox eq g}^{-1} \text{ ms DPPH}$ (190 °C). Este aumento de la capacidad antioxidante en la cañihua reportado por Tacora *et al.* (2010) es similar al ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana reportado en el presente estudio.

4.2.2 Efecto de la temperatura y humedad en la disponibilidad de litio

Con respecto a la disponibilidad de litio en el proceso de extruido se presenta en el Cuadro 15 para el ecotipo Ayara y variedad INIA 420 Negra Collana, la prueba estadística se observa en el Anexo 6, existiendo una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos. Asimismo se observa en la Figura 7 el contenido de litio en los tres procesos agroindustriales.

Del Cuadro 15, se observa que el tratamiento 3 (T3 - M1EA Ecotipo Ayara con 160°C y 12% humedad) presenta mayor contenido de litio con 5.7647 ppm, seguido del Tratamiento 8 (T8 – M2NC variedad INIA 420 Negra Collana 160°C y 14% de humedad) con 5.3381 ppm. Analizando los resultados, se observa que la temperatura influye considerablemente en la disponibilidad de litio, donde a mayor temperatura, mayor es el contenido de litio.

CUARO 15

DISPONIBILIDAD DE LITIO EN QUINUA EXTRUIDA ECOTIPO AYARA Y
VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

QUINUA EXTRUIDA				
TRATAMIENTOS	ECOTIPO Y VARIEDAD	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	LITIO ppm
T1	M1EA	150	12	3.6193
T2	M1EA	150	14	5.0074
T3	M1EA	160	12	5.7647
T4	M1EA	160	14	4.2559
T5	M2NC	150	12	4.5229
T6	M2NC	150	14	4.1275
T7	M2NC	160	12	2.3735
T8	M2NC	160	14	5.3381

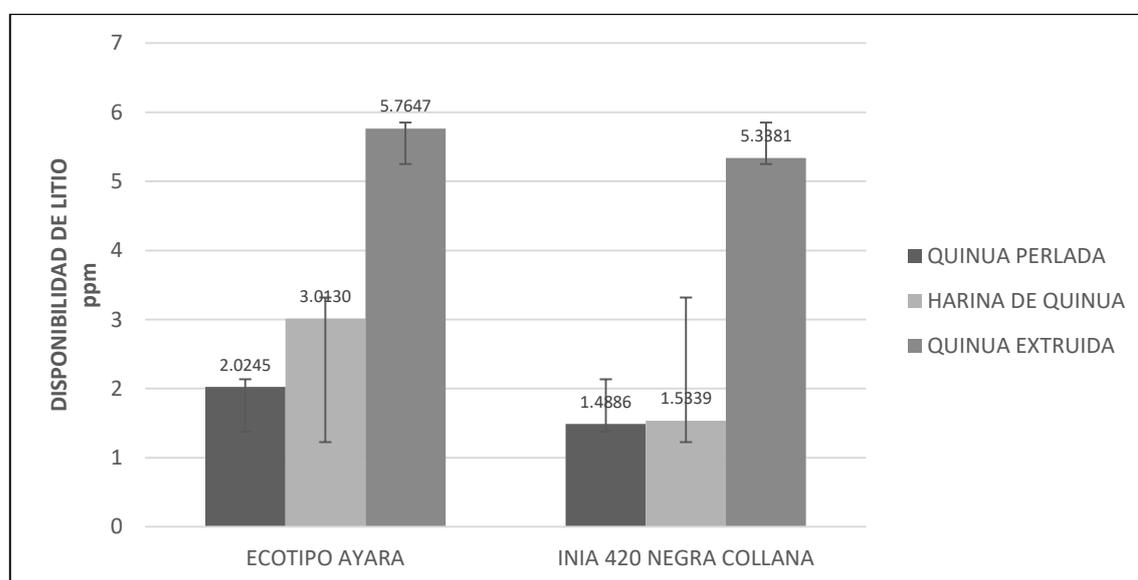
M1EA = Ecotipo Ayara, M2NC = INIA 420 Negra Collana

Assunção *et al.* (2012), estudiaron el enriquecimiento del hongo (champiñones) con litio en sustrato de café, debido a la gran capacidad de esta seta en acumular litio en su sistema, siendo una alternativa como fuente de litio y así sustituir el carbonato de litio (Li_2CO_3) utilizado en la psiquiatría. El resultado que reportó fue de 27.46 ± 12.64 de litio en muestra control (hongo

no enriquecido), y 70.51 ± 7.04 en la muestra enriquecida, concluyendo que al adicionar 500 LiCl a la cáscara del café en el sustrato, el hongo presentó en la tercera cosecha más de $200 \mu\text{g g}^{-1}$ de Li, a diferencia del grupo control con $25 \mu\text{g g}^{-1}$ de Li.

FIGURA 8

EFFECTO DEL PERLADO, MOLIENDA Y EXTRUIDO EN LA DISPONIBILIDAD DE LITIO DE LA QUINUA ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA



Ecotipo Ayara (EA) y variedad INIA 420 Negra Collana (NC). Para el extruido se consideró los valores más altos de litio para cada muestra (EA = "T3" 160°C y 12% de humedad; NC = "T8" 160°C y 14% de humedad).

Por otra lado, las concentraciones de litio en el agua potable reportan valores entre < 1 y $170 \mu\text{g/L}$ (Bluml *et al.*, 2013; Kabacs *et al.*, 2011; Sugawara *et al.*, 2013 mencionados por Harari *et al.*, 2015), en ciertas áreas de Austria y el norte de Chile se han reportado concentraciones superiores a 1000 mg/L (Kapusta *et al.*, 2011, mencionado por Harari *et al.*, 2015; (Zaldivar, 1980,

citado por Harari *et al.*, 2015). Por su parte, Concha *et al.* (2010) citado por Harari *et al.* (2015) encontraron concentraciones elevadas en el agua potable (~1000 µg/L). Para el caso del agua embotellada Harari *et al.* (2015) encontró concentraciones altas de litio en un producto de Eslovaquia con casi 10 mg/L.

El incremento del litio durante el extruido (Figura 8), se debe posiblemente a la adición de agua durante el acondicionamiento de la quinua perlada para el extruido, ya que se sabe que el agua presenta litio en su composición de acuerdo con investigaciones realizadas por Bluml *et al.* (2013); Kabacs *et al.*, (2011); Sugawara *et al.*, (2013) mencionados por Harari *et al.*, (2015); Kapusta *et al.*, (2011), mencionado por Harari *et al.*, (2015); Zaldivar, 1980, citado por Harari *et al.*, (2015) y Concha *et al.* (2010) citado por Harari *et al.* (2015), en todos los casos reportaron concentraciones de litio en el agua potable. Sin embargo, se desconoce su presencia y nivel de concentración en el agua potable de la ciudad de Puno.

Con respecto a la disponibilidad de litio en la quinua, son escasas las investigación relacionadas a la agroindustria hasta la fecha, pero si existen como referencia, estudios realizados en otros alimentos y el uso de este oligoelemento en pacientes con trastorno bipolar.

4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA QUINUA EN TRES PROCESOS AGROINDUSTRIALES

4.3.1 Quinua perlada

En el Cuadro 16 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de la quinua perlada ecotipo Ayara obtenido por el método combinado, reportando 13.16 ± 0.01 % de proteína, 12.14 ± 0.01 % de humedad, cenizas 2.50 ± 0.02 %, grasa 6.83 ± 0.03 %, fibra 4.14 ± 0.02 %, carbohidratos 61.23 ± 0.04 %.

El valor de la proteína encontrado en el presente estudio (Ecotipo Ayara) es inferior al reportado por Torrez *et al.* (2002) quienes al estudiar la quinua “Ajara” (pariente silvestre de color negro) del altiplano boliviano, reportó 17.80 g de proteína. Asimismo, Torrez *et al.* (2002) encontraron en la “Ajara” del altiplano boliviano 46.06 g carbohidratos, contenido inferior al encontrado en el presente estudio, pero el valor reportado para los lípidos, fibra y cenizas es superior al encontrado en el ecotipo Ayara con 7.56g, 12.16 g y 4.90 g respectivamente, sin embargo, estos datos en relación a la ceniza y carbohidratos no se encuentran dentro de los parámetros establecidos por las Normas Técnicas Andinas según los valores indicados por Soto *et al.* (2010).

Los valores hallados en la composición fisicoquímica reportada del Cuadro 16, se encuentran dentro de los requisitos bromatológicos de la quinua según las Normas Técnicas Peruanas (NTP) emitida en el año 2009, donde la humedad máxima en un grano es de 13.5 %, cenizas 3.5 % y valores mínimos en la proteína con 10 %, grasa 4.0 %, fibra 3.0 %, y carbohidratos 65 % .

CUADRO 16

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE QUINUA PERLADA ECOTIPO AYARA

Componentes 100g de producto	R-1	R-2	R-3	$x \pm \sigma$	
Humedad (%)	12.14	12.13	12.15	12.14	± 0.01
Materia seca (%)	87.86	87.87	87.85	87.86	± 0.01
Cenizas (%)	2.52	2.50	2.48	2.50	± 0.02
Proteína (%)	13.17	13.15	13.16	13.16	± 0.01
Grasa (%)	6.83	6.80	6.85	6.83	± 0.03
Fibra (%)	4.16	4.14	4.12	4.14	± 0.02
Carbohidratos (%)	61.19	61.27	61.24	61.23	± 0.04
Energía (Kcal/100 g)	358.87	358.92	359.25	359.01	± 0.20
Acidez (%) Exp. en ácido sulfúrico	0.14	0.13	0.15	0.14	± 0.01
pH	4.52	4.52	4.53	4.52	± 0.005

R=Repeticiones, x = Promedio, σ = desviación estándar

Por su parte Miranda *et al.* (2011), estudiaron los aspectos nutricionales de seis ecotipos de quinua de Chile reportó en el contenido de proteína (g/100 g⁻¹ MS) para el ecotipo Villarrica 16.10 ± 0.14 g, para el ecotipo Regalona 14.66 ± 0.38 g, ecotipo Ancovinto 12.85 ± 0.28 g y ecotipo Cancosa 13.59 ± 0.08 g mayores al contenido de proteína del ecotipo Ayara. Mientras que el ecotipo Cáhuil 11.41 ± 0.54 g, y ecotipo Faro 11.32 ± 0.19 g, presentan valores inferiores al ecotipo Ayara.

En relación a los demás componentes el ecotipo Ancovinto presenta una humedad 7.74 ± 0.07 , ceniza 3.36 ± 0.06 , grasa 6.24 ± 0.06 , fibra 1.45 ± 0.06 , carbohidratos 68.36 ± 0.42 . Cancosa presenta una humedad 9.29 ± 0.06 , ceniza 3.46 ± 0.10 , grasa 5.88 ± 0.13 , fibra 1.91 ± 0.28 , carbohidratos 65.88 ± 0.08 . El ecotipo Cahuil, presenta una humedad de 13.17 ± 0.02 , ceniza 3.15 ± 0.07 ,

grasa 7.15 ± 0.16 , fibra 1.33 ± 0.46 , carbohidratos 63.80 ± 0.68 . Para Faro la humedad presenta 13.17 ± 0.10 , ceniza 3.53 ± 0.04 , grasa 6.59 ± 0.10 , fibra 1.50 ± 0.14 , carbohidratos 63.89 ± 0.17 , en el ecotipo Regalona una humedad 14.27 ± 0.03 , ceniza 3.61 ± 0.09 , grasa 6.42 ± 0.09 , fibra 1.90 ± 0.23 , carbohidratos 59.14 ± 0.27 . Villarica presenta una humedad de 15.18 ± 0.02 , ceniza 3.65 ± 0.09 , grasa 5.97 ± 0.07 , fibra 2.81 ± 0.07 , carbohidratos 56.73 ± 0.19 .

En relación a la acidez Miranda *et al.* (2002), encontraron datos entre 0.28 ± 0.03 a 0.41 ± 0.03 , pH entre 6.18 ± 0.02 a 6.40 ± 0.02 , éstos datos son superiores a los encontrados en el ecotipo Ayara que oscilan entre 0.13 a 0.15 % de acidez y 4.52 a 4.53 % de pH.

Por otra parte, Vicentin *et al.* (2013) reportaron en la quinua BRS Piabiru, cultivar mejorado que se adapta en el centro – oeste del Brasil 16.41 ± 0.15 % de proteína, lípidos $9.71 \pm 0.57\%$, y cenizas 3.03 ± 0.89 %, estos valores son mayores a los encontrados en el ecotipo Ayara, pero inferior en relación a la fibra con 1.92 ± 0.22 %.

Respecto a la variedad INIA 420 Negra Collana se presenta en el Cuadro 17 (Anexo 7 al 15), donde se muestra la composición fisicoquímica de la quinua perlada variedad INIA 420 Negra Collana, obtenido por el método combinado, presentándose 14.09 ± 0.01 % de proteína en su composición, este valor es inferior al obtenido por Huilca (2014) que reportó 15.65 % y al encontrado por INIA (2013) con 17.85 %, para la misma variedad en estudio. El contenido proteico de la variedad INIA 420 Negra Collana fue superior al ecotipo Ayara, de estos valores se encontró una diferencia significativa referente a la grasa y energía, en cambio en referencia a la ceniza, fibra,

humedad, acidez y pH, el ecotipo Ayara presenta datos sobresalientes en relación a la variedad Negra Collana.

Los valores encontrados en la variedad se encuentran dentro de los requisitos bromatológicos emitidos por las NTP (2009). Por su parte, Lorenz y Coulter (1991), indican que la composición fisicoquímica de la quinua oscila entre 10 a 18 % de proteínas, del 4 al 9 % para grasa, del 54 al 64 % de hidratos de carbono, de 2 a 4 % en ceniza y de 2 a 5 % de fibra.

CUADRO 17

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE QUINUA PERLADA VARIEDAD INIA 420
NEGRA COLLANA

Componentes 100g de producto	R-1	R-2	R-3	x ± σ	
				x	σ
Humedad (%)	11.95	11.90	11.92	11.92	± 0.02
Materia seca (%)	88.05	88.10	88.08	88.08	± 0.02
Cenizas (%)	2.21	2.20	2.18	2.20	± 0.01
Proteína (%)	14.08	14.10	14.09	14.09	± 0.01
Grasa (%)	7.05	7.03	7.00	7.03	± 0.02
Fibra (%)	3.56	3.53	3.50	3.53	± 0.03
Carbohidratos (%)	61.14	61.25	61.31	61.23	± 0.08
Energía (Kcal/100 g)	364.37	364.63	364.60	364.53	± 0.14
Acidez (%) Exp. en ácido sulfúrico	0.12	0.14	0.13	0.13	± 0.01
pH	4.42	4.42	4.43	4.42	± 0.005

R=Repeticiones, x = Promedio, σ = desviación estándar

El contenido de ceniza encontrado en la muestra analizada fue de 2.20%, fibra 3.50 %, grasa 7.03, energía 364.53 Kcal/100 g, humedad de 11.92 % y acidez de 0.13 %; estos valores difieren al encontrado por Huillca (2014), con ceniza 2.44 %, fibra 6.11 %, grasa 8.47 %, carbohidratos 60.43 %, y

humedad 6.90 %. En relación al contenido de cenizas la muestra evaluada por INIA (2013), hallaron 2.20 %, fibra 1.89 %, grasa 9.82%, energía 385.46 Kcal/100g y una acidez de 0.00 %, una humedad de 10.00 %, similar al reportado por Apaza *et al.* (2013) con una humedad de 9.88 %, proteínas 17.62 %, fibra 2.10 %, cenizas 2.13 %, grasa 5.94 %, carbohidratos 62.33 %, energía 368.61 Kcal/100 g.

Según Reyes *et al.* (2009), mencionan que la quinua blanca de Puno, presenta 13.30 g de proteínas en 100g, ceniza 2.4 g, fibra 5.1 g, grasa 6.1 g, carbohidratos 67.1 g, energía 346 Kcal/100g, y humedad de 11,1 g. Po otro lado, Jimenez *et al.* (2013), al caracterizar la variedad CICA, encontraron 16.58 g/100 g de proteína, carbohidratos 67.99 g, grasas 6.91, cenizas 4.56 g, fibra 3.96 g, humedad 9.55 g, 400.38 Kcal/100 g. Asimismo, Riva (2010), reportó para la variedad Salcedo INIA una proteína de 14.27 %, ceniza 2.42 %, grasa 8.11 %, fibra 3.41 %, carbohidratos 60.6 %, y humedad 11.24 % valores similares a los encontrados en el presente estudio.

Apaza *et al.* (2013), reportan la composición fisicoquímica de las variedades comerciales del Perú, como la quinua variedad INIA 431 Altiplano que presenta una humedad de 8.44 %, Proteína 16.19 %, cenizas 2.00 %, Para la variedad INIA 427 Amarilla Sacaca, la humedad encontrada fue de 9.52 %, Proteína 14.58 %, cenizas 2.00 %; en la variedad INIA 415 Pasankalla se reporta una humedad de 9.62 %, Proteína 17.83 %, cenizas 2.83 %; para la variedad Illpa INIA humedad de 8.42 %, Proteína 16.14 %, cenizas 1.99 %; en la variedad Salcedo INIA la humedad encontrada fue de 8.66 %, Proteína 16.23 %, cenizas 2.00 %; Quillahuaman INIA humedad de 9.52 %, Proteína 13.58 %, cenizas 2.00 %. En la variedad Amarilla Maranganí la humedad encontrada fue

de 8.72 %, Proteína 13.85 %, cenizas 2.00 %; Blanca de Juli presentó una humedad de 8.88 %, Proteína 16.15 %, cenizas 2.13 %; para la variedad Kancolla su humedad encontrada fue 8.12 %, Proteína 16.11 %, cenizas 2.04%.

Recientemente Nowak *et al.* (2016), realizaron un revisión de 27 artículos sobre los componentes de la quinua cruda compilados de acuerdo a normas internacionales encontrando grandes variaciones en el contenido de nutrientes en donde el contenido de proteína va desde 9.1 a 15.7 g ($x=13.1$), ceniza entre 2.0 a 7.7 g ($x=3.3$), grasa 4.0 a 7.6 g (5.7), fibra entre 1.0 a 9.2 g ($x=3.3$), energía 333 a 381 Kcal ($x=357$), humedad 8.2 a 13.1 g ($x=10.1$), carbohidratos 48.5 a 69.8 g ($x=59.9$) para la quinua sin cocer de acuerdo a la base de datos del USDA (United State Departament of agricultura) se encuentra en proteína 14.1 g, grasa 6.1g, carbohidratos 57.2 g, energía 354 Kcal., humedad 13.3 g, cenizas 2.4 g, y para la fibra no está disponible.

Tacora *et al.* (2010), al estudiar dos variedad de cañihua reportó para la variedad Illpa 13.67 ± 0.22 % de proteína, ceniza 2.61 ± 0.10 %, grasa 8.79 ± 0.10 %, humedad 8.26 ± 0.47 %, fibra 6.41 ± 0.20 %, carbohidratos 60.26 ± 0.84 %. Para la variedad Cupi presentó 14.85 ± 0.30 % de proteína, ceniza 3.13 ± 0.26 %, grasa 8.15 ± 0.05 %, humedad 7.5 ± 0.36 %, fibra 6.91 ± 0.10 , carbohidratos 59.45 ± 0.50 %.

Los resultados del análisis fisicoquímico de las dos muestras están dentro de los rangos de composición obtenidos en la bibliografía y otras investigaciones realizadas. La variación de los rangos se debe al lugar de procedencia de la quinua, así como las características fenológicas de variedad, cultivar (Lorenz y Coulter, 1991), condiciones ambientales, condiciones de

humedad relativa, contenido de sales y pH de los suelos, madurez del fruto, condiciones de cosecha, almacenamiento entre otros factores que influyen en el contenido final (Alvarez-Jubete *et al.* 2010 citado por Miranda *et al.* 2011; Nsimba *et al.* 2008).

4.3.2 Harina de quinua

En el Cuadro 18 (Anexo 16 al 24) se muestra la composición fisicoquímica de la harina de quinua ecotipo Ayara donde el contenido de proteico es de 13.16 ± 0.00 , este valor es inferior al reportado por Zea (2011) con 14.94 %, y superior al mencionado por Reyes *et al.* (2009) con 9,10 g de proteína.

CUADRO 18

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE HARINA DE QUINUA ECOTIPO AYARA

Componentes 100g de producto	R-1	R-2	R-3	x ± σ	
				x	σ
Humedad (%)	11.26	11.24	11.22	11.24	± 0.02
Materia seca (%)	88.74	88.76	88.78	88.76	± 0.02
Cenizas (%)	2.77	2.80	2.79	2.79	± 0.01
Proteína (%)	13.16	13.16	13.16	13.16	± 0.00
Grasa (%)	8.42	8.40	8.38	8.40	± 0.02
Fibra (%)	4.24	4.20	4.22	4.22	± 0.02
Carbohidratos (%)	60.15	60.20	60.23	60.19	± 0.04
Energía (Kcal/100 g)	369.02	369.04	368.98	369.01	± 0.03
Acidez (%) Exp. en ácido sulfúrico	0.13	0.12	0.11	0.12	± 0.01
pH	4.05	4.05	4.06	4.05	± 0.005

R=Repeticiones, x = Promedio, σ = desviación estándar

El contenido proteico la variedad INIA 420 Negra Collana se muestra en el Cuadro 19, este valor es superior al ecotipo Ayara con 14.49 % a 13.16 % respectivamente. Asimismo, el ecotipo ayara presenta una humedad de 11.24 ± 0.02 , cenizas 2.79 ± 0.01 , grasa 8.40 ± 0.02 , fibra 4.22 ± 0.02 , carbohidratos 60.19 ± 0.04 , energía 369.01 ± 0.03 Kcal/100g. Los valores encontrados para la variedad INIA 420 Negra Collana, presentaron una humedad de 10.18 ± 0.02 , cenizas 2.40 ± 0.01 , grasa 8.40 ± 0.01 , fibra 3.46 ± 0.01 , carbohidratos 61.07 ± 0.06 , energía 377.87 ± 0.11 Kcal/100g.

CUADRO 19

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE HARINA VARIEDAD INIA 420 NEGRA
COLLANA

Componentes 100g de producto	R-1	R-2	R-3	$x \pm \sigma$	
Humedad (%)	10.20	10.18	10.15	10.18	± 0.02
Materia seca (%)	89.8	89.82	89.85	89.82	± 0.02
Cenizas (%)	2.41	2.38	2.40	2.40	± 0.01
Proteína (%)	14.50	14.48	14.50	14.49	± 0.01
Grasa (%)	8.42	8.39	8.40	8.40	± 0.01
Fibra (%)	3.48	3.45	3.46	3.46	± 0.01
Carbohidratos (%)	60.99	61.12	61.09	61.07	± 0.06
Energía (Kcal/100 g)	377.74	377.91	377.96	377.87	± 0.11
Acidez (%) Exp. en ácido sulfúrico	0.11	0.10	0.12	0.11	± 0.01
pH	4.18	4.18	4.18	4.18	± 0.00

R=Repeticiones, x = Promedio, σ = desviación estándar

Zea (2011), encontró una humedad de 7.79 %, grasa 6.73 %, fibra 4.64 %, ceniza 2.12 %, carbohidratos 64.70 %. Por su parte Reyes *et al.* (2009), reportaron para la harina de quinua una energía 341 Kcal/100g, humedad 13.7,

grasa 2.6, carbohidratos 72.10 g, fibra 3.1, cenizas 2.5 g. Medina y Abburra (2013) al analizar dos lotes de harina de quinua variedad Cica encontraron rangos de humedad entre 8.05 a 11.47 %, cenizas 1.85 a 1.86 %, proteína 14.64 a 14.76 %, carbohidratos 63.77 a 67.54 %. Estos valores son inferiores a los encontrados en el presente estudio.

4.3.3 Quinua extruida

Los resultados del análisis fisicoquímico de la quinua extruida ecotipo Ayara (T3) se presenta en el Cuadro 20 y de la variedad INIA 420 Negra Collana (T8) en el Cuadro 21, de la misma forma el análisis estadístico para la quinua extruida se presenta con mayor detalle desde el Anexo 25 al 33, en cuanto a proteína, grasa, cenizas, fibra, energía, humedad, carbohidratos, acidez y pH.

Analizando, El Cuadro 20 y 21, se encontró que el mayor contenido de proteico se encuentra en la variedad INIA 420 Negra Collana con 15.40 ± 0.13 % (160°C a 14% humedad), respecto al ecotipo Ayara con 13.98 ± 0.12 % (160°C a 12% de humedad). El valor encontrado en la variedad Negra Collana por Zea (2011), presenta 14.02 % de proteína, siendo superior al hallado en el ecotipo Ayara e inferior al encontrado en la variedad INIA 420 Negra Collana.

CUADRO 20

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE QUINUA EXTRUIDA ECOTIPO AYARA
(Tratamiento 3)

Componentes 100g de producto	R-1	R-2	R-3	x ± σ	
Humedad (%)	7.13	7.15	7.14	7.14	± 0.01
Materia seca (%)	92.86	92.86	92.86	92.86	± 0.00
Cenizas (%)	2.45	2.45	2.45	2.45	± 0.00
Proteína (%)	13.91	14.13	13.91	13.98	± 0.12
Grasa (%)	9.47	9.45	9.50	9.47	± 0.02
Fibra (%)	3.98	3.90	3.95	3.94	± 0.04
Carbohidratos (%)	63.05	62.93	63.05	63.01	± 0.06
Energía (Kcal/100 g)	393.07	393.29	393.34	393.23	± 0.14
Acidez (%) Exp. en ácido sulfúrico	0.13	0.13	0.12	0.13	± 0.005
pH	3.25	3.25	3.26	3.25	± 0.005

R=Repeticiones, x = Promedio, σ = desviación estándar

CUADRO 21

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE QUINUA EXTRUIDA VARIEDAD INIA 420
NEGRA COLLANA

(Tratamiento 8)

Componentes 100g de producto	R-1	R-2	R-3	x ± σ	
Humedad (%)	6.47	6.48	6.49	6.48	± 0.01
Materia seca (%)	93.52	93.52	93.52	93.52	± 0.00
Cenizas (%)	2.46	2.51	2.47	2.48	± 0.02
Proteína (%)	15.48	15.48	15.25	15.40	± 0.13
Grasa (%)	8.36	8.35	8.39	8.37	± 0.02
Fibra (%)	4.18	4.22	4.20	4.20	± 0.02
Carbohidratos (%)	63.04	62.96	63.21	63.07	± 0.12
Energía (Kcal/100 g)	389.32	388.91	389.35	389.19	± 0.24
Acidez (%) Exp. en ácido sulfúrico	0.14	0.14	0.14	0.14	± 0.00
pH	3.50	3.50	3.50	3.50	± 0.00

R=Repeticiones, x = Promedio, σ = desviación estándar

Zea (2011), reportó en relación a la humedad 5.39 %, grasa 5.75 %, fibra 3.70 %, ceniza 2.15 %, carbohidratos 68.99 %, estos valores son superiores al extruido del ecotipo Ayara que presenta una humedad de 7.14 ± 0.01 , cenizas 2.45 ± 0.00 , grasa 9.47 ± 0.02 , fibra 3.94 ± 0.04 , carbohidratos 63.01 ± 0.06 , energía 393.23 ± 0.14 Kcal/100g. Los valores encontrados para el extruido de la variedad INIA 420 Negra Collana, presentaron una humedad de 6.48 ± 0.01 , cenizas 2.48 ± 0.02 , grasa 8.37 ± 0.02 , fibra 4.20 ± 0.02 , carbohidratos 63.07 ± 0.12 , energía 389.19 ± 0.24 Kcal/100g.

Por otro lado, Reyes *et al.* (2009), encontraron en la quinua cocida 2.80g de proteína, grasa 1.3 g, humedad 79.0 g, energía 86 Kcal./100g, carbohidratos 16.3 g, fibra 0.7 g, cenizas 0.6 g. Riva (2010) para la quinua procesada (Tostado - cocción) variedad Salcedo INIA encontró 70.03 % de humedad, grasa 2.22 %, proteína 3.19 %, ceniza 0.70 %, fibra 1.08 %, carbohidratos 22.78 %.

Los datos encontrados en el presente estudio, se relacionan con Tacora *et al.* (2010), en la cañihua ya que luego del proceso de expandido mientras más se incrementa la presión la proteína aumenta para las dos variedades, pasando de 9.55 ± 0.12 % (120 Lbf.pulg⁻²) a 12.49 ± 0.42 % (160 Lbf.pulg⁻²) para la variedad Illpa, y de 6.01 ± 0.09 % (120 Lbf.pulg⁻²) a 12.22 ± 0.06 % (160 Lbf.pulg⁻²) en la variedad Cupi. En el caso de la humedad está descendiendo en ambas variedades de 4.39 ± 0.25 % (120 Lbf.pulg⁻²) a 3.67 ± 0.10 (160 Lbf.pulg⁻²) en la variedad Illpa, y en la variedad Cupi cae de 4.29 ± 0.08 % (120 Lbf.pulg⁻²) a 3.70 ± 0.04 (160 Lbf.pulg⁻²), para los carbohidratos en la variedad Illpa incrementa de 67.45 ± 0.48 % (120 Lbf.pulg⁻²) a 69.82 ± 0.59 % (160 Lbf.pulg⁻²), pero para la variedad Cupi descendiendo de 69.77 ± 0.07 % (120

Lbf.pulg⁻²) a 66.74 ± 0.02 % ($160 \text{ Lbf.pulg}^{-2}$), para el caso de los componentes como la grasa, ceniza y fibra en ambas variedades los valores descienden conforme incrementa la presión.

En el proceso de tostado de la cañihua Tacora *et al.* (2010), hallaron que para las dos variedades desciende el contenido de proteína de 13.96 ± 0.21 % ($130 \text{ }^\circ\text{C}$) a 9.45 ± 0.4 % ($190 \text{ }^\circ\text{C}$) para la variedad Illpa, y de 12.53 ± 0.69 % ($130 \text{ }^\circ\text{C}$) a 6.05 ± 0.58 % ($190 \text{ }^\circ\text{C}$) para la variedad Cupi; la humedad decrece igualmente de 3.42 ± 0.26 % ($130 \text{ }^\circ\text{C}$) a 0.63 ± 0.07 % ($190 \text{ }^\circ\text{C}$) en la variedad Illpa, y para la variedad Cupi baja de 2.58 ± 0.38 % ($130 \text{ }^\circ\text{C}$) a 0.81 ± 0.07 % ($190 \text{ }^\circ\text{C}$), la misma tendencia se presenta en la grasa, mientras que para la ceniza, carbohidratos y fibra incrementa.

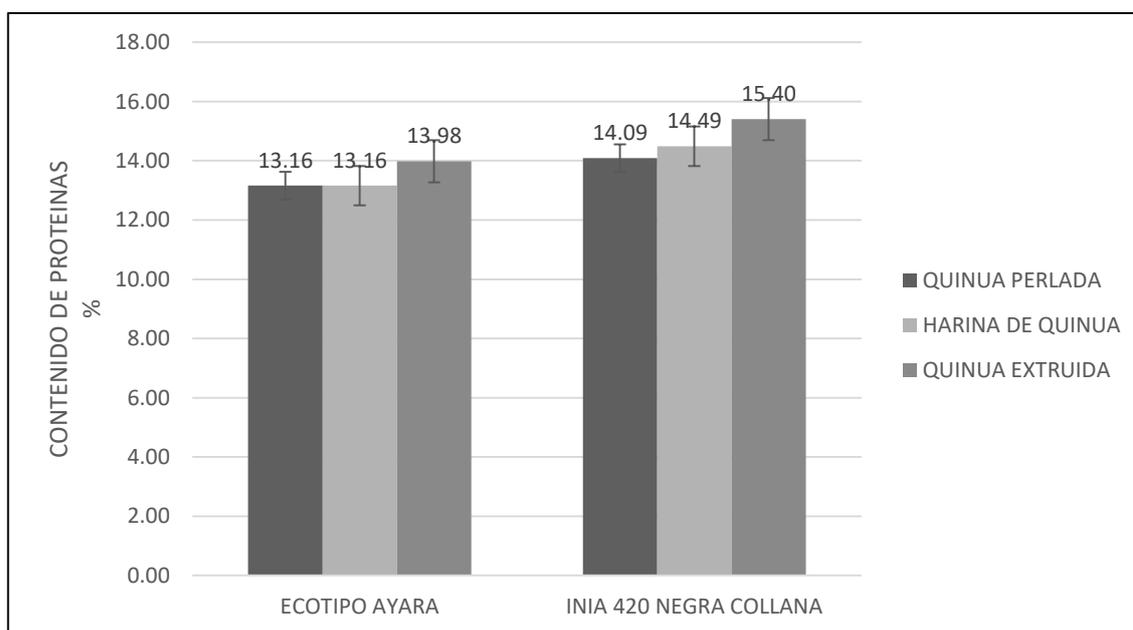
Respecto a las características fisicoquímicas, los nutrientes incrementan durante los tres procesos agroindustriales, los cuales se presentan en Figura 9 y 10, en especial el contenido de proteína y humedad ya que están relacionados porque su concentración está inversamente ligada a la pérdida de agua (Ayala *et al.* 2001), de la misma forma está ligada a la humedad relativa, desencadenando en un cambio físico; es así que, después del tratamiento térmico la concentración de la proteína bruta aumenta relativamente en función de la disminución de la cantidad de agua (humedad) mientras se incrementa los niveles de transformación.

Sin embargo, teóricamente, el valor biológico de la proteína puede disminuir porque durante el tostado, los granos de la quinua adquieren una coloración marrón que es producto de la reacción de Maillard, allí los grupos épsilon-amino de restos de lisina, en presencia de glucosa conducen a la

formación de épsilon-N-desoxi-fructosil-1-lisina ligada a las proteínas. La lisina en esta forma no es biológicamente útil (Ayala *et al.* 2001; Alcazar, 2002).

FIGURA 9

EFFECTO DEL PERLADO, MOLIENDA Y EXTRUIDO EN EL CONTENIDO
PROTEICO DE LA QUINUA ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA
COLLANA



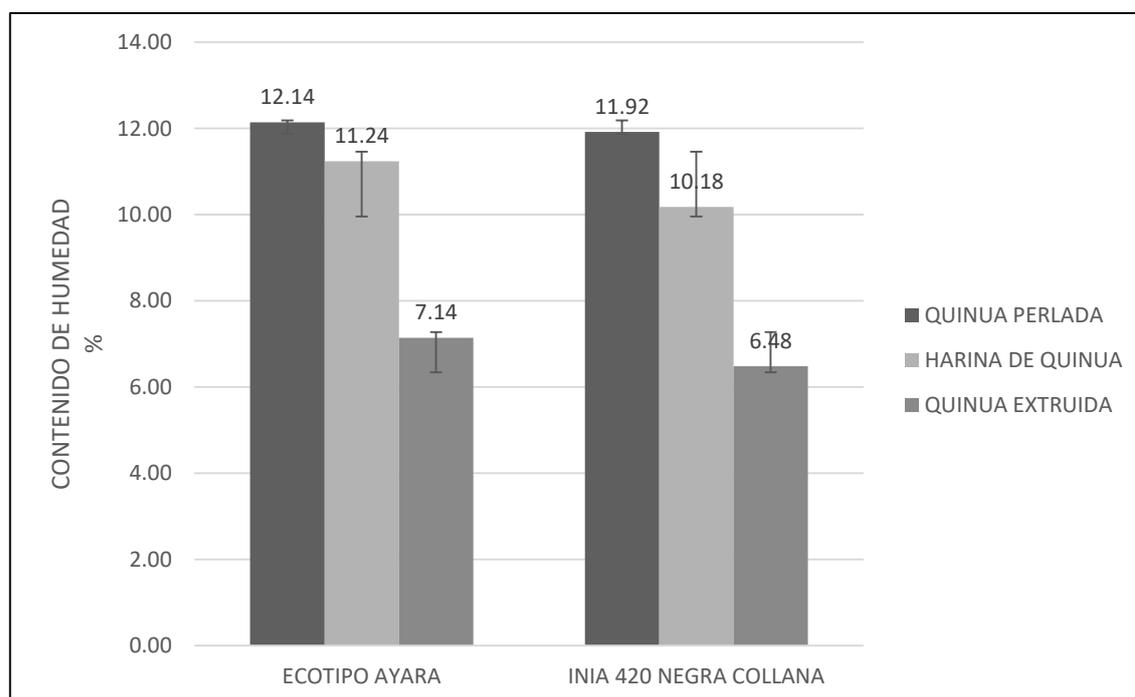
Ecotipo Ayara (EA) y variedad INIA 420 Negra Collana (NC). Para el extruido se consideró el mejor tratamiento en relación al contenido de capacidad antioxidante y litio de cada muestra (EA = "T3" 160°C y 12% de humedad; NC = "T8" 160°C y 14% de humedad).

Además, el calentamiento de las proteínas desarrolla aromas típicos en los que los aminoácidos participan como precursores. Investigaciones han demostrado que los aromas característicos aparecen también con la reacción de Maillard y que son compuestos derivados esencialmente de cisteína, metionina, omitina y prolina (Ayala *et al.* 2001). La calidad de la proteína

depende de la concentración de aminoácidos esenciales y la digestibilidad de la proteína.

FIGURA 10

EFFECTO DEL PERLADO, MOLIENDA Y EXTRUIDO EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA QUINUA ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA



Ecotipo Ayara (EA) y variedad INIA 420 Negra Collana (NC). Para el extruido se consideró el mejor tratamiento en relación al contenido de capacidad antioxidante y litio de cada muestra (EA = "T3" 160°C y 12% de humedad; NC = "T8" 160°C y 14% de humedad).

CONCLUSIONES

- El contenido de la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en la quinua perlada del ecotipo Ayara es de 1560 $\mu\text{g/ml}$ DPPH y 2.0245 ppm Li., en ambos casos los valores fueron mayores a la variedad INIA 420 Negra Collana (1056 $\mu\text{g/ml}$ DPPH y 1.4886 ppm Li.) de igual manera para la harina de quinua, el ecotipo Ayara mostró 1946 $\mu\text{g/ml}$ DPPH y 3.0130 ppm Li. contenido superior a la variedad INIA 420 Negra Collana, que presentó 1939 $\mu\text{g/ml}$ DPPH y 1.5339 ppm Li.
- En el proceso de extrusión la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en el ecotipo Ayara presenta valores entre 3077 a 3603 $\mu\text{g/ml}$ DPPH, y 3.6193 a 5.7647 ppm respectivamente, estableciéndose que a mayor temperatura y menor humedad (160°C 12%), la concentración de antioxidantes aumenta. Mientras que para la variedad INIA 420 Negra Collana los valores oscilan entre 3173 a 3518 $\mu\text{g/ml}$ DPPH de capacidad antioxidante y 2.3735 a 5.3381 ppm de litio, donde a mayor temperatura y humedad (160°C 14%) la disponibilidad de litio y capacidad antioxidante incrementa.

- Las características fisicoquímicas en relación a la proteína, ceniza, carbohidratos, energía, lípidos y pH de la variedad INIA 420 Negra Collana luego del proceso de perlado, molienda y extruido, presentó valores superiores al ecotipo Ayara, en cambio, en el análisis de ceniza, fibra, humedad y acidez, el ecotipo Ayara concentró mayor contenido en su composición durante los tres procesos agroindustriales respecto a la variedad INIA 420 Negra Collana, este incremento se debe a la relación inversa de humedad, asimismo, los valores reportados se encuentran dentro de los rangos según las NTP.

RECOMENDACIONES

- Realizar más estudios para confirmar estos hallazgos y para comprender mejor los mecanismos implicados en la capacidad antioxidante y disponibilidad de litio en diferentes ecotipos y variedades.
- Utilizar para futuros trabajos más de dos métodos para hallar la capacidad antioxidante a fin de contrastar los valores y así dilucidar los datos encontrados.
- Realizar más estudios referidos al extruido de la quinua en sus diferentes ecotipos y variedades, asimismo, utilizar controladores para la temperatura, a fin de estimar cálculos precisos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abderrahim F.; Huanatico, E.; Repo-Carrasco-Valencia, R.; Arribas, S. M.; Gonzales, M. C. y Condezo-Hoyos, L. (2012). *Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidate stress markers in cañihua (Chenopodium pallidicaule)*. Journal of Cereal Science. 56: 410-417.
- Abderrahim F.; Huanatico, E.; Segura, R.; Arribas, S.; Gonzales, M. C. y Condezo-Hoyos, L. (2015). *Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa sedes (Chenopodium quinoa Willd.) from Peruvian Altiplano*. Journal Food Chemistry 183: 83-90.
- Abugoch J., L. E. (2009). *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional and Functional Properties*. Advances in Food and Nutrition Research. 58: 1-31.
- Adrian, J. y Frangne, R. (1990). *Extrusión de alimentos, utilizando cereales*. Universidad Nacional Autónoma de Monterrey, Mexico DF.
- Ahn, H.; Jeon, T.; Lee, J.; Hwang, S.; Lim, Y. y Park, D. (2002). *Antioxidative activity of persimmon and grape seed extract: in vitro and in vivo*. Nutr. Res., v. 22, n. 11: 1265-1273.
- Alcázar, J. (2002). *Diccionario técnico de industrias alimentarias*. (2da. ed.). Impreso en Perú.

- Álvarez, M.; Pavón, J. y Von Rütte, S. (1990). *Characterization*. Cap. I. en C. Wahli (Ed.). *Quinoa hacia su cultivo comercial*. Latin Reco S.A. Quito, Ecuador.
- A.O.A.C. (1994). *Official methods of the Association for Analytical Chemists*. USA.
- Apaza, V.; Cáceres, G.; Estrada, R. y Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – INIA Instituto Nacional de Innovación Agraria. Impreso en Lima, Perú.
- Aral H. y Vecchio-Sadus, A. (2008). *Toxicity of lithium to humans and the environment – A literatura review*. *Journal Ecotoxicology and Environmental safety*. 70: 349-356.
- Assunção S., L. de; Luz R, J. M. da; Silva S., M. C. da; Fontes V., P. A.; Soares B., D. M.; Dantas V., M. C. y Megumi K., M. C. (2012). *Enrichment of mushrooms: an interesting strategy for the acquisition of lithium*. *Journal Food Chemistry*. 134:1123-1127.
- Ayala, G.; Ortega, L. y Moron, C. (2001). *Valor nutritivo y usos de la quinua*. En. Mujica, A.; Jacobsen, S-E.; Izquierdo, J. y J.-P. Marathee. *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) – Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. FAO, UNA, CIP. Santiago, Chile.
- Baldessarini R.J.; Tondo L., D. P.; Pompili, M.; Goodwin F.K. y Hennen J. (2006). *Decreased risk of suicides and attempts during long-term lithium treatment: a meta-analytic review*. *Bipolar disorders*. 8: 625-639.

- Barreiros, A. L.; David, J. M. y David, J. P. (2006). *Estresse oxidative: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo*. Quim. Nova. v. 29 n. 1: 113-123.
- Barriga, P.; Pessot, R. y Scaff, R. (1994). *Análisis de la diversidad genética en el germoplasma de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) recolectado en el sur de Chile*. Agro Sur 22 (No Esp.):4.
- Bianchi, M. y Antunes, L. (1999). *Radicaís libres e os principais antioxidantes da dieta*. Rev. Nutr. v. 12. n. 2: 123-130.
- Blanco B., T. y Ortiz U., C. A. (2003). *Alimentos – bromatología*. Impreso en Lima, Perú.
- Bonifacio, A. (1990). *Caracteres hereditarios y ligamiento factorial en la quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*. Tesis Ing. Agr. Univ. Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.
- Bonifacio, A. (2006). *Andean Products High Plateau and Central Valleys. – Informe Granos en el Área Altoandina de Bolivia, Ecuador y Perú*. UNUDI. Viena, Austria.
- Canahua M., A. y Mujica S., A. (2013). *Quinua: Pasado, presente y futuro*. Recuperado de <http://quinua.pe/wp-content/uploads/downloads/2013/04/quinuapasadopresenteyfuturo.pdf>
- Carciochi, R. A.; Manrique, G. D. y Dimitrow, K. (2014). *Changes in phenolic composition and antioxidant activity during germination of quinoa seeds (Chenopodium quinoa Willd.)*. International Food Research Journal. 21 (2): 767-773.

- Cardenas, M. (1944). *Descripción preliminar de las variedades de Chenopodium quinoa de Bolivia*. Revista de Agricultura. Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba (Bol.) Vol. 2, No. 2.
- Carrillo, A. (1992). *Anatomía de la semilla de Chenopodium berlandieri ssp. Nuttalliae (Chenopodiaceae) Huauzontle*. Tesis Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados Centro Botánica. Montecillo. México.
- Cronquist, A. (1995). *Botánica Básica*. (4ta. ed.) México DF.
- Cuadrado V., C. (1995). *Ingesta de contaminantes – metales pesados- y nutrientes potencialmente tóxicos vía dieta total en Adalucia, Galicia, Madrid y Valencia*. Tesis Doctorado en Farmacia. Universidad Complutense de Madrid, España.
- Dini, I.; Terone, G. C. y Dini, A. (2010). *Antioxidant compound contents and antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter Chenopodium quinoa seeds*. LWT Food Science and Technology. 43: 447-451.
- Felipe J., J. de. (2015). *O lítio*. Associação Brasileira de Medicina Biomolecular, Curso de Bioquímica aplicada a medicina biomolecular 2011. Recuperado de <http://www.medicinabiomolecular.com.br/biblioteca/pdfs/Nutrientes/nu-0138.pdf>
- Fennema, O. R. (2000). *Química de los alimentos*. (2da. ed.) Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.

- Fleming J. E. and Galwey, N. E. (1995). *Quinoa (Chenopodium quinoa)* Ch. 1.
In: J. T. Williams (Ed.) *Cereals and Pseudocereals*, Chapman & Hall.
London, United Kingdom.
- Food and Agriculture Organization – FAO (2011). *La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Roma, Italia.
- Gallardo, M.; Gonzales, A. y Ponessa, G. (1997). *Morfología del fruto y semilla de Chenopodium quinoa Willd. (Quinoa)*. *Chenopodiaceae*. *Lilloa* 39,1.
- Gamarra (2003). *Extracción de betaninas de las semillas de ayrampos (Opuntia schrensi Birton & Rose), evaluación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de los extractos*. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. UNALM. Lima, Perú.
- Gómez-Jarado, G. Á. (2012). *Bases farmacológicas de la conducta – II Farmacología de los trastornos mentales y conductuales*. Editorial Síntesis S. A. Madrid, España.
- Gortatti, C. (2000). *La extrusión como tecnología flexible para procesamiento de alimentos*. INT-CEMPAM-CEIGRA. Buenos Aires, Argentina.
- Graças T., V. L. das; Cidade, M. J. A.; Baccan, N.; Cadore, S. y Freitas M., T.M.F. de (2009). *Quantificação de Lítio em Polpas de Frutas*. Sociedade Brasileira de Química. Ceará, Brasil.
- Habashi, F. (1997). *Handbook of extractive Metallurgy*. vol. 4. Wiley-VCH. New York. EUA.

- Harari F.; Langeén, M.; Casimiro, E.; Bottai, M.; Palm, B.; Nordqvist, H. y Vahter, M. (2015). *Environmental exposure to lithium during pregnancy and fetal size: A longitudinal study in the Argentinean Andes*. Journal Environmental International. 77: 48-54.
- Harvard Health Publications (2015). *Why you should thank your aging brain – one way the older brain is able to repair itself*. Harvard University. Recuperado de <http://www.health.harvard.edu/mind-and-mood/why-you-should-thank-your-aging-brain>.
- Hoct y Izzo, M. T. (1992). *Lipid – protein and lipid – carbohydrate interaction during extrusion*. M&M. Mars Hackettstown. New Jersey, USA.
- Huanatico S., P. (2011). *Determinación y evaluación de parámetros óptimos para la obtención industrial de peske de quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*. Tesis Ing. Agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Huillca M., H. R. (2014). *Análisis químico proximal y antioxidantes de dos variedades de quinua: negra collana y rosada pasankalla, desaponificada cruda y cocida*. Tesis Lic. Nutrición Humana. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Ibañez Q., V. (2003). *Diseños estadísticos*. Editorial Universitaria. Impreso en Puno, Perú.
- INDECOPI (2009). *Norma Técnica Peruana QUINUA (Chenopodium quinoa Willd.) – Requisitos*. NTP 205.062 julio 2009. Lima, Perú.

- Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA (2013). *INIA 420 “Negra Collana” – Variedad con granos de buena calidad para la agroindustria, exportación y consumo nacional*. Programa Nacional de Investigación de Cultivos – Estación Experimental Agraria ILLPA – Puno, Perú.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA (2015) *Un futuro sembrado hace miles de años*. Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado de <http://www.inia.gob.pe/ano-internacional-de-la-quinua>
- INTA Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos - Universidad de Chile (2015) *Antioxidantes*. Recuperado de <http://www.portalantioxidantes.com/mision/>
- Jacobsen, S. y Stolen, O. (1993). *Quinoa – Morfology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe*. Eur. J. Agron. 2(1):19-29.
- Jacobsen, S. E. (2003). *The Worldwide Potential for Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. Food Reviews International 19: 167-177.
- Jibaja E., L. M. (2014). *Determinación de la capacidad antioxidante y análisis composicional de harina de cáscara de mango mangífera indica variedad criollo*. Revista Universidad César Vallejo. 2(1).
- Jiménez, P.L.; Armada, A. y Gomez, S. E. (2013). *Caracterización fisicoquímica y estructural de semillas de quinua (Chenopodium quinoa) variedad Cica con evaluación de la eficiencia de un proceso artesanal de escarificado seco*. Ciencia y tecnología de los cultivos industriales 3(5): 71-78.

- Johns, T. & Eyzaguirre, P. B. (2007). *Biofortification, biodiversity and diet: A search for complementary applications against poverty and malnutrition*. Journal Food Policy. 32:1-24.
- Kapusta, N. D. y König, D. (2015). *Naturally occurring low-dose lithium in drinking water*. Journal Clinical Psychiatry 76:3.
- Kostik V.; Bauer B. y Kavrakovski, Z. (2014). *Lithium content in potable water, surface water, ground water, and mineral water on the territory of Republic of Macedonia*. International Journal of Medicine and Public Health 4 (3):185-193.
- Lafuente L., R. (1991). *Beneficios y riesgos del uso prolongado del litio en las psicosis afectivas*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.
- Leighton P., F.; Urquiaga R., I.; Mezzano, D.; Martinez, C.; Inestroza, N.; Larrondo, L.; Cuevas, A.; Rozowski, J. y Castillo, O. (2000). *Alimentación, antioxidantes y envejecimiento*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Impreso en Salesianos S.A. Santiago de Chile.
- Lenntech BV – Water Treatment Solutions (2015). *Propiedades químicas del litio*. Recuperado de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/li.htm>
- Lescano, J. L. (1989). *Recursos fitogenéticos altoandinos y bancos de germoplas*. In: Curso: "Cultivos altoandinos". Potosi, Bolivia. 17-21 de abril de 1989. pp 1-18.
- Lescano, J. L. (1994). *Genética y mejoramiento de cultivos andinos: quinoa, kañihua, tarwi, kiwicha, papa amarga, olluco, mashua y oca*. Programa

Interinstitucional de Waru Waru, Convenio INADE/PELT – COTESU.
Puno, Perú.

Ligarda S., C.A.; Repo-Carrasco, R.; Encina Z., C. R.; Herrera B., I. y Quinde-Axtell, Z. (2012). *Extracción con soluciones neutra y alcalina para el aislamiento de fibra soluble e insoluble a partir de salvado de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), Kiwicha (Amaranthus caudatus L.) y Cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)*. Revista de la sociedad química del Perú. 78 (1).

Lorenz, K. y Coulter, L. (1991). *Quinoa flour in baked products*. Plant foods for human nutrition. 41: 213 – 223.

Luque, O. M. y Chaiña, A. (2002). *Diseño, Construcción y evaluación del efecto de cocción de un extrusor de bajo costo, con la mezcla alimenticia en base a quinua (Chenopodium quinoa Willd.), cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen), cebada (Hordeum vulgare L.), maíz (Zea mays L.), haba (Vicia faba L.) y soya (Glycine soja L.)*. Tesis Ing. Agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

Marca, M. (2004). *Procesos e Investigaciones agroindustriales en quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Informe técnico. Proyecto quinua un cultivo multipropósito*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

Mataix V., J. y Llopis G., J. (2013). *Minerales*. En Mataix. Tratado de Nutrición y Alimentación – Nutrientes y Alimentos. Vol I. Editorial Oceano. Barcelona, España.

McEwen, BS. (1998). *Protective and damaging effects of stress mediators*. The New England Journal of Medicine. 338:171-179.

- Medina B., M. y Abburra, R. (2013). *Caracterización del fruto y harina de Chenopodium quinoa variedad CICA*. Ciencia y tecnología de los cultivos industriales 3(5): 79-84.
- Miller, R. C. (1991). *Extrusion and extruders American Association of Cereal Chemist*. Chapter 6. Minnessota. USA.
- Miranda, M.; Vega-Gálvez, A.; Uribe, E.; López, J.; Martínez, E.; Rodríguez, M. J.; Quispe, I. y Di Scala, K. (2011). *Physico-chemical analysis, antioxidant capacity and vitamins of six ecotypes of chilean quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. Procedia Food Science – 11th International congress on Engineering and Food. 1: 1439 – 1446.
- Mujica, A. (1992). *Granos y leguminosas andinas*. En: Hernández J, Bermejo J, León (Editores). Cultivos marginados: otra perspectiva de 1942. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO, Roma, Italia.
- Mujica, A. (1993). *Cultivo de Quinoa*. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Serie Manual N°11-93. Lima, Perú.
- Mujica, A. & Jacobsen, S. - E. (2000). *Agrobiodiversidad de las aynokas de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) y la seguridad alimentaria*. Proc. Seminario – Taller Agrobiodiversidad en la Región Andina y Amazónica. 24-25 November 1998, UNALM. Lima, Perú.
- Mujica, A.; Izquierdo, J. y Marathee, J. - P. (2001a). *Origen y descripción de la Quinoa*. En. Mujica, A.; Jacobsen, S-E.; Izquierdo, J. y J.-P. Marathee. Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) – Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO, UNA, CIP. Santiago, Chile.

- Mujica, A.; Canahua, A. y Saravia, R. (2001b). *Agronomía del cultivo de la quinua*. En: Mujica, A.; Jacobsen, S-E.; Izquierdo, J. y J.-P. Marathee. *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.) – Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. FAO, UNA, CIP. Santiago, Chile.
- Mujica S., A.; Ortiz R., R.; Bonifacio, A.; Saravia, R.; Corredor, G.; Romero, A. y Jacobsen, S.-E.. (2006). *Agroindustria de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en los países andinos*. Puno, Perú.
- Mujica A. y Jacobsen, S.-E. (2006). *La quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y sus parientes silvestres*. En: Moraes R., M.; Øllgard, B.; Kvist, L. P.; Borchsenius, F. y H. Balslev. *Botánica Económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Mujica S., A. M. y Chura Y., E. J. (2012). *Cultivos de granos andinos y cereales*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Natural Saluzvir (2016). *El litio y sus beneficios para la salud*. Recuperado de <http://www.rdnatural.es/plantas-y-nutrientes-para-el-organismo/minerales/litio/>
- Nicoli M. C.; Anese, M. y Parpinel M. (1999). *Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables*. *Trends in Food Science & Technology* 10: 94-100.
- Nielsen, F. H. (1998). *Ultratrace elements in Nutrition: Current knowledge and speculation*. *Journal of Trace elements in experimental medicine*. 11:25-274.

- Nowak, V.; Du, J. y Charrondiére, U. R. (2016). *Assessment of the nutritional composition of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. Journal Food Chemistry. 193: 47-54.
- Nsimba R. Y.; Kikuzaki H. y konishi, Y. (2008). *Antioxidant activity of various extracts and fractions of Chenopodium quinoa and Amaranthus spp. Seeds*. Food Chemistry. 106: 760 – 766.
- Pokorny, J.; Yanishlieva, N. y Gordon, M. (2005). *Antioxidantes de los Alimentos – Aplicaciones prácticas*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.
- Quispe Q., D. (2003). *Elaboración de fideos a partir de harina de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) como sustituto parcial de harina de trigo (Triticum vulgare)*. Tesis Ing. Agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Repo-Carrasco, R. (1992). *Cultivos Andinos y la alimentación infantil*. Comisión de Coordinación de Tecnología Andina CCTA. Serie Investigaciones N°1. Lima, Perú.
- Repo-Carrasco, R. (1998). *Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y granos andinos*. Impreso en Lima, Perú.
- Repo-Carrasco, R. y Encina Z., C. R. (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): 85 – 99.

- Reyes G., M.; Gómez-Sánchez P., I.; Espinoza B., C.; Bravo R., F. y Ganoza M., L. (2009). *Tablas peruanas de composición de alimentos*. (8va. ed.). Ministerio de Salud. Lima, Perú.
- Rice-Evans, C. A.; Miller, N. J. y Paganda, G. (1996). *Structure-antioxidant, activity relationship of flavonoids and phenolic acid*. *Free Radical Biology and Medicine*. 20(7): 933-956.
- Riva T., D. F. De la. (2010). *Comparación del contenido de fitatos, polifenoles y capacidad antioxidante de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) cruda y procesada, variedad Salcedo INIA*. Tesis Ing. Agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Rojas, W. (1998). *Análisis de la diversidad genética del germoplasma de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) de Bolivia, mediante métodos multivariados*. Tesis M.Sc. Univ. Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Chile.
- Rojas, W. (2003). *Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm*. *Food Reviews International*. 19 (1-2): 9-23.
- Rojas, W.; Mamani, E.; Pinto, M.; Alanoca, C. y Ortuño, T. (2008). *Identificación, taxonomía de parientes silvestres de quinua del Banco de Germoplasma de Granos Altoandinos*. *Agricul*. Año 60(44): 56-65.
- Rojas, W.; Milton Pinto y Soto, J. L. (2010a). *Distribución geográfica y variabilidad genética de los granos Andinos*. En: *Granos Andinos. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañihua y amaranto en Bolivia*. Bioersivity International. Roma, Italia.

- Rojas, W.; Pinto, M.; Soto, J.L. y Alcocer, E. (2010b). *Valor nutricional, agroindustrial y funcional de los granos andinos*. En: Rojas, W.; Soto, J.L.; Pinto, Jäger, M. y S. Padulosi. 2010. Granos Andinos – Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity International. Roma, Italia.
- Ruales, J. & Nair, B. (1992). *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) an important Andean food crop*. Arch. Latinoamer. Nutr. 42: 232-241.
- Sánchez L., J. (2013). *El litio*. Psiquiatria.com – Universidad de los Andes. Recuperado de http://sanliz.com/content/index.php?option=com_content&task=view&id=76&Itemid=88
- Santolaya, F.; Peñate, W.; Obiols LL., J.; Echeburúa O., E. y Buela-Casal, G. (2009). *Psicología clínica: Estrés, ansiedad y depresión*. Recuperado de <http://www.sc.ehu.es/scrwwsu/2009/ruedasdeprensa/RP14/RPN1.htm>
- Scalbert, A. y Williamson G. (2000). *Dietary intake and bioavailability of polyphenols*. The Journal of Nutrition. 130: 2073 – 2085.
- Schrauzer, G. N y Vroey, E. de (1994). *Effects of nutritional lithium supplementation on mod*. Biol. Trace El. 40: 89-101.
- Schrauzer, G. N. (2002). *Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality*. Journal of the American College of Nutrition. 21(1): 14-21.
- Shami, N. y Moreira, E. (2004). *Licopeno como agente antioxidante*. Rev. Nutr., v. 17, n. 2: 227-236.

- Sanchez-Moreno, C. (2002). *Review: Methods used to evaluate the three radical scavenging activity in foods and biological systems*. Food Science and Technology International. 8 (3): 121-137.
- Soto, J. L.; Kuramoto, C.; Seleme, J. P.; Calderón, R. y Castañares, C. (2010). *Normas Técnicas Andinas para quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y productos procesados (hojuelas y harina)*. Comité técnico Quinoa IBNORCA-NOEXPORT. La Paz, Bolivia.
- Tabarés, F. L. (2013). *Lithium: Technology, performance safety*. Published by Nova Science Publishers Inc. United States.
- Tacora C., R. L.; Luna M., G. I.; Bravo P., R.; Mayta H., J.; Choque Y., M. y Ibañez Q., V. (2010). *Efecto de la presión de expansión por explosión y temperatura de tostado en algunas características funcionales y fisicoquímicas de dos variedades de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)*. Journal de Ciencia y Tecnología Agraria. 2(1): 188-198.
- Tang, Y.; Li, X.; Chen, P. X.; Zhang, B.; Hernandez, M.; Zhang, H.; Marccone, M. F.; Liu, R. y Tsao, R. (2015). *Characterisation of fatty acid, carotenoid, tocopherol/tocotrienol compositions and antioxidant activities in seeds of three Chenopodium quinoa Willd. Genotypes*. Journal Food Chemistry. 174: 502 – 508.
- Tapia, M.; Gandarillas, H.; Alandia, S.; Cardozo, A. y Mujica, A. (1979). *La Quinoa y la Kañiwa: Cultivos andinos*. CIID – Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Bogotá, Colombia.
- Tapia, M. E.; Mujica, A. y Canahua, A. (1980). *Origen distribución geográfica y sistemas de producción en Quinoa*. En: Primera Reunión sobre genética y

Fitomejoramiento de la Quinoa. Universidad Nacional Técnica del Altiplano, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas / Centro de Investigación Internacional para el Desarrollo. Puno-Perú.

Tapia, M. (1990). *Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. Instituto nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA – FAO. Oficina para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.

Tapia, M. E. y Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO y Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú - ANPE. Lima, Perú.

Tapia, M. (2012). *La quinua*. *Ambienta*. 99 (6):45.

Tememoche, C. (2003). *Evaluación de algunas características funcionales de 30 clones de mashua*. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. UNALM, Lima, Perú.

Torres H., A. y Minaya, I. (1980). *Escarificadora de Quinoa*. Publicaciones Misceláneas N° 243. IICA. Lima, Perú.

Torres L., J. L.; Pedrosa P., D.; Targhín L., S. y Pedrosa O., T. L. (2016). *Un espectro bipolar peculiar – A propósito de un caso*. *Revista del Hospital Psiquiátrico de la Habana*. Vol. 13 N° 2.

Torrez, M. O.; Guzmán A., Amelia y Carvajal, R. (2002). *Valoración nutricional de 10 variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) del altiplano boliviano*. *Biofarbo*. 10:55-60.

- Tovar de la Riva, J. (2013). *Determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de treinta plantas recolectadas en la ecoregión cafetera*. Tesis Químico industrial. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Vásquez, F. (2006). *Digestibilidad in vitro de proteína y compuestos bioactivos en accesiones de kiwicha (Amaranthus caudatus L., 1753) Tostada*. Tesis M.SC. Scientae. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Velasco M., Alfonso y Alvarez G., F. J. (1988). *Compendio de psiconeurofarmacología*. Ediciones Diaz de Santos S.A. Madrid, España.
- Vetter, J. (2005). Lithium content of some common edible wild-growing mushrooms. *Journal Food Chemistry*. 90: 31-37.
- Vicentin P., S.; Clauss, T.; Arêa M., S.; Kiere G., A.; Pereira S., A. H.; Evelázio de S., N.; Vergílio V., J.; Marques G., S. T. y Matsushita, M. (2013). *Evaluation of nutritional compounds in new amaranth and quinoa cultivars*. *Food Science Technology*. 22(2).
- Villacorta, L. y Talavera, V. (1976). *Anatomía del grano de quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*. *Anales científicos*. Vol. XIV: 39-45. Universidad Nacional Agraria. Lima, Perú.
- Vollmannova, A.; Margitanova, E.; Tóth, T.; Ticmoracká, M.; Urmínská, D.; Bojnanská, T. y Cicová, I. (2013). *Cultivar influence on total polyphenol and rutin contents and total total antioxidant capacity in Buckwheat, Amaranth and Quinoa seeds*. *Czech Journal Food Science*. 31 (6): 589 – 595.

- Zaichick, S.; Zaichick, V.; Krandashev, V.; Nosenko, S.; Ermidou-Pollet, S. y Pollet, S. (2015). *The effect of age on the lithium content in prostate of healthy men*. ResearchGate. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/267685124>
- Zarse, K.; Terao, T.; Tian, J.; Iwata, N.; Ishii, N. y Ristow, M. (2011). *Low-dose lithium uptake promotes longevity in humans and metazoans*. *European Journal of Nutrition*. 50 (5): 387-389.
- Zea Z., C. (2011). *Determinación biológica de la calidad proteica en harina de quinua extruida de la variedad negra collana*. Tesis Ing. Agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.



ANEXOS

ANEXO 1

PRUEBA t-Student PARA LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA QUINUA
PERLADA

$$|t_c| = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j}} \sim t_{\frac{\alpha}{2}}(n_i + n_j) - 2$$

$$S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j} = \sqrt{S^2 \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$$S^2 = \frac{(n_i - 1)S_i^2 + (n_j - 1)S_j^2}{(n_i + n_j) - 2}$$

Decisión:

$$H_0 = \mu_i = \mu_j$$

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j$$

$t_c > t_{\frac{\alpha}{2}}$, existe significancia; rechazamos H_0 .

$t_c \leq t_{\frac{\alpha}{2}}$, no hay significancia; rechazamos H_a .

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Resultados:

$t_c = 115.2045 > t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.776$, lo cual nos demuestra que existe significancia entre grupos independientes por tanto, rechazamos la H_0 .

ANEXO 2

PRUEBA t-Student PARA LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA HARINA
DE QUINUA

$$|t_c| = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j}} \sim t_{\frac{\alpha}{2}}(n_i + n_j) - 2$$

$$S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j} = \sqrt{S^2 \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$$S^2 = \frac{(n_i - 1)S_i^2 + (n_j - 1)S_j^2}{(n_i + n_j) - 2}$$

Decisión:

$$H_0 = \mu_i = \mu_j$$

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j$$

$t_c > t_{\frac{\alpha}{2}}$, existe significancia; rechazamos H_0 .

$t_c \leq t_{\frac{\alpha}{2}}$, no hay significancia; rechazamos H_a .

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Resultados:

$t_c = 2.697065 \leq t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.776$, lo cual nos demuestra que no hay significancia entre grupos independientes ($P \leq 0.05$); por tanto, rechazamos la H_a .

ANEXO 3

PRUEBA t-Student PARA LA DISPONIBILIDAD DE LITIO EN LA QUINUA
PERLADA

$$|t_c| = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j}} \sim t_{\frac{\alpha}{2}}(n_i + n_j) - 2$$

$$S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j} = \sqrt{S^2 \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$$S^2 = \frac{(n_i - 1)S_i^2 + (n_j - 1)S_j^2}{(n_i + n_j) - 2}$$

Decisión:

$$H_0 = \mu_i = \mu_j$$

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j$$

$t_c > t_{\frac{\alpha}{2}}$, existe significancia; rechazamos H_0 .

$t_c \leq t_{\frac{\alpha}{2}}$, no hay significancia; rechazamos H_a .

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Resultados:

$t_c = 36.13585 > t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.776$, lo cual nos demuestra que existe significancia entre grupos independientes por tanto, rechazamos la H_0 .

ANEXO 4

PRUEBA t-Student PARA LA DISPONIBILIDAD DE LITIO EN LA HARINA DE
QUINUA

$$|t_c| = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j}} \sim t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)$$

$$S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j} = \sqrt{\frac{S_i^2}{n_i} + \frac{S_j^2}{n_j}}$$

Decisión:

$$H_0 = \mu_i = \mu_j$$

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j$$

$t_c > t_{\frac{\alpha}{2}}$, existe significancia; rechazamos H_0 .

$t_c \leq t_{\frac{\alpha}{2}}$, no hay significancia; rechazamos H_a .

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Resultados:

$t_c = 5.205863 > t_{\frac{\alpha}{2}} = 4.303$, lo cual nos demuestra que existe significancia entre grupos independientes por tanto, rechazamos la H_0 .

ANEXO 5

ANOVA DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA QUINUA EXTRUIDA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	7	809150.1748	115592.8821	6019.27	2.66	4.03	**
Error	16	307.2608	19.2038				
Total	23	809457.4356					

R²=0.999620 C.V=0.131258 MSE=4.382214 Media=3338.636

RESULTADO DE COMPARACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS EN EL CONTENIDO DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Contrastes	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
C ₁ : Variedad*Temperatura	1	23719.6378	23719.6378	1235.15	5.12	10.6	**
C ₂ : Variedad* Humedad	1	467.2387	467.2387	24.33	5.12	10.6	*
C ₃ : Temperatura*Humedad	1	4596.9920	4596.9920	239.38	5.12	10.6	**
C ₄ : Variedad*Temperatura*Humedad	1	45189.8434	45189.8434	2353.17	5.12	10.6	**

ANEXO 6

ANOVA DE DISPONIBILIDAD DE LITIO EN LA QUINUA EXTRUIDA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	7	23.79944058	3.39992008	2400.19	2.66	4.03	**
Error	16	0.02266430	0.00141652				
Total	23	23.82210488					

R²=0.999049 C.V=0.860038 MSE=0.037637 Media=4.376163

RESULTADO DE COMPARACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS EN EL CONTENIDO DE LITIO

Contrastes	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
C ₁ : Variedad*Temperatura	1	2.04055848	2.04055848	1440.54	5.12	10.6	**
C ₂ : Variedad* Humedad	1	2.71333575	2.71333575	1915.50	5.12	10.6	**
C ₃ : Temperatura*Humedad	1	0.08042310	0.08042310	56.78	5.12	10.6	**
C ₄ : Variedad*Temperatura*Humedad	1	14.68079910	14.68079910	10364.0	5.12	10.6	**

ANEXO 7

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA HUMEDAD EN LA QUINUA PERLADA
ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.00146328	0.00146328	190.83	7.71	21.2	**
Error	4	0.00003067	0.00000767				
Total	5	0.00149396	0.00140796				

$R^2=0.979469$ C.V.=0.079833 MSE=0.002769 Media=3.468633

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	3.484250	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	3.453017	B

ANEXO 8

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA CENIZA EN LA QUINUA PERLADA
ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.01470767	0.01470767	441.77	7.71	21.2	**
Error	4	0.00013317	0.00003329				
Total	5	0.01484084					

$R^2=0.991027$ C.V.=0.376724 MSE=0.005770 Media=1.531620

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LAS MUESTRAS DE
QUINUA DE CENIZA

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	1.58113	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	1.48211	B

ANEXO 9

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA PROTEINA EN LA QUINUA PERLADA
ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.02381153	0.02381153	12962.2	7.71	21.2	**
Error	4	0.00000735	0.00000184				
Total	5	0.02381888					

$R^2=0.999692$ C.V.= 0.036724 MSE= 0.001355 Media=3.690668

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LAS MUESTRAS DE QUINUA DE PROTEINA

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	3.753665	A
ECOTIPO AYARA	3	3.627671	B

ANEXO 10

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA GRASA EN LA QUINUA PERLADA

ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.00216567	0.00216567	94.69	7.71	21.2	**
Error	4	0.00009149	0.00002287				
Total	5	0.00225716					

R²=0.959469 C.V.=0.181717 MSE=0.004782 Media=2.631785

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	2.650783	A
ECOTIPO AYARA	3	2.612786	B

ANEXO 11

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA FIBRA EN LA QUINUA PERLADA

ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.03644642	0.03644642	829.31	7.71	21.2	**
Error	4	0.00017579	0.00004395				
Total	5	0.03662221					

R²=0.995200 C.V.=0.338790 MSE=0.006629 Media=1.956757

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	2.034695	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	1.878818	B

ANEXO 12

ANALISIS DE VARIANZA PARA CARBOHIDRATOS EN LA QUINUA

PERLADA ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.00000000	0.00000000	0.00	7.71	21.2	ns
Error	4	0.00007405	0.00001851				
Total	5	0.00007405					

R²=0.000000 C.V.=0.054983 MSE=0.004303 Media=7.825172

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	7.825173	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	7.825172	A

ANEXO 13

ANALISIS DE VARIANZA PARA ENERGIA EN LA QUINUA PERLADA

ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	45.70560000	45.70560000	1454.05	7.71	21.2	**
Error	4	0.12573333	0.03143333				
Total	5	45.83133333					

R²=0.997257 C.V.=0.049007 MSE=0.177294 Media=361.7733

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	364.5333	A
ECOTIPO AYARA	3	359.0133	B

ANEXO 14

ANALISIS DE VARIANZA PARA ACIDEZ EN LA QUINUA PERLADA

ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.00027864	0.00027864	1.5	7.71	21.2	ns
Error	4	0.00074287	0.00018572				
Total	5	0.00102151					

R²=0.272773 C.V.=3.711367 MSE=0.013628 Media=0.367192

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	0.37401	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	0.36038	B

ANEXO 15

ANALISIS DE VARIANZA PARA pH EN LA QUINUA PERLADA ECOTIPO

AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.01500000	0.01500000	450	7.71	21.2	**
Error	4	0.00013333	0.00003333				
Total	5	0.01513333					

R²=0.991189

C.V.=0.129065

MSE=0.005774

Media=4.473333

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

TIPO DE QUINUA	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	4.523333	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	4.423333	B

ANEXO 16

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA HUMEDAD EN EL PROCESO DE

MOLIENDA ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.03962051	0.03962051	3239.74	7.71	21.2	**
Error	4	0.00004892	0.00001223				
Total	5	0.03966943					

R²=0.998767

C.V.=0.106900

MSE=0.003497

Media=3.271349

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	3.352610	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	3.190087	B

ANEXO 17

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA CENIZA EN EL PROCESO DE
MOLIENDA ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.02203966	0.02203966	972.73	7.71	21.2	**
Error	4	0.00009063	0.00002266				
Total	5	0.02213029					

R²=0.995905

C.V.=0.295886 MSE=0.004760 Media=1.608719

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	1.669327	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	1.548112	B

ANEXO 18

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA PROTEINA EN EL PROCESO DE
MOLIENDA ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.04824395	0.04824395	41943.3	7.71	21.2	**
Error	4	0.00000460	0.00000115				
Total	5	0.04824856					

R²=0.999905

C.V.=0.028851 MSE=0.001072 Media=3.717341

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	3.8070109	A
ECOTIPO AYARA	3	3.6276714	B

ANEXO 19

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA GRASA EN EL PROCESO DE MOLIENDA
ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.00000050	0.00000050	0.05	7.71	21.2	ns
Error	4	0.00003769	0.00000942				
Total	5	0.00003819					

R²=0.013013

C.V.=0.105900 MSE=0.003070 Media=2.898562

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	2.898850	A
ECOTIPO AYARA	3	2.898274	A

ANEXO 20

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA FIBRA EN EL PROCESO DE MOLIENDA

ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.05602398	0.05602398	2764.67	7.71	21.2	**
Error	4	0.00008106	0.00002026				
Total	5	0.05610503					

R²=0.998555

C.V.=0.229951 MSE=0.004502 Media=1.957630

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	2.05426	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	1.86100	B

ANEXO 21

ANALISIS DE VARIANZA PARA CARBOHIDRATOS EN EL PROCESO DE

MOLIENDA ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.00471739	0.00471739	366.29	7.71	21.2	**
Error	4	0.00005151	0.00001288				
Total	5	0.00476890					

R²=0.989198

C.V.=0.046089 MSE=0.003589 Media=7.786476

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	7.814516	A
ECOTIPO AYARA	3	7.758436	B

ANEXO 22

ANALISIS DE VARIANZA PARA ENERGÍA EN EL PROCESO DE MOLIENDA
ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	117.6608167	117.660817	16533.1	7.71	21.2	**
Error	4	0.0284667	0.0071167				
Total	5	117.6892833					

R²=0.999758 C.V.=0.022590 MSE=0.084360 Media=373.4417

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	377.87000	A
ECOTIPO AYARA	3	369.01333	B

ANEXO 23

ANALISIS DE VARIANZA PARA ACIDEZ EN EL PROCESO DE MOLIENDA
ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.00032749	0.00032749	1.5	7.71	21.2	ns
Error	4	0.00087302	0.00021826				
Total	5	0.00120051					

R²=0.272790 C.V.=4.360250 MSE=0.014773 Media=0.338821

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

TIPO DE QUINUA	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	0.34621	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	0.33143	A

ANEXO 24

ANALISIS DE VARIANZA PARA pH EN EL PROCESO DE MOLIENDA
ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.02406667	0.02406667	1444	7.71	21.2	**
Error	4	0.00006667	0.00001667				
Total	5	0.02413333					

R²=0.997238 C.V.=0.099170 MSE=0.004082 Media=4.116667

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	4.180000	A
ECOTIPO AYARA	3	4.053333	B

ANEXO 25

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA HUMEDAD EN EL PROCESO DE
EXTRUIDO ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.0240009	0.0240009	6522.49	7.71	21.2	**
Error	4	1.472E-05	3.68E-06				
Total	5	0.0240156					

R²=0.999387 C.V.=0.073529 MSE=0.001918 Media=2.608831

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	2.672077	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	2.545584	B

ANEXO 26

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA CENIZA EN EL PROCESO DE
EXTRUIDO ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.0001365	0.0001365	3.88	7.71	21.2	ns
Error	4	0.0001408	3.519E-05				
Total	5	0.0002773					

R²=0.492289 C.V.=0.377848 MSE=0.005932 Media= 1.570017

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	1.574787	A
ECOTIPO AYARA	3	1.565248	A

ANEXO 27

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA PROTEINA EN EL PROCESO DE
EXTRUIDO ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.0514929	0.0514929	179.23	7.71	21.2	**
Error	4	0.0011492	0.0002873				
Total	5	0.0526421					

$R^2=0.978170$ C.V.=0.442321 MSE=0.016950 Media= 3.832044

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	3.92468	A
ECOTIPO AYARA	3	3.73940	B

ANEXO 28

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA GRASA EN EL PROCESO DE EXTRUIDO
ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.0515367	0.0515367	3476.27	7.71	21.2	**
Error	4	0.0000593	1.483E-05				
Total	5	0.0515961					

$R^2=0.998851$ C.V.=0.128982 MSE=0.003850

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	3.077876	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	2.892518	B

ANEXO 29

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA FIBRA EN EL PROCESO DE EXTRUIDO
ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.0060714	0.0060714	95.25	7.71	21.2	**
Error	4	0.000255	6.375E-05				
Total	5	0.0063264					

$R^2=0.959696$ C.V.=0.395726 MSE=0.007984 Media= 2.017576

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	2.049386	A
ECOTIPO AYARA	3	1.985765	B

ANEXO 30

ANALISIS DE VARIANZA PARA CARBOHIDRATOS EN EL PROCESO DE EXTRUIDO ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	2.139E-05	2.139E-05	0.51	7.71	21.2	ns
Error	4	0.0001673	4.182E-05				
Total	5	0.0001887					

R²=0.113389

C.V.=0.081449 MSE=0.006467 Media= 7.939771

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	7.941660	A
ECOTIPO AYARA	3	7.937883	A

ANEXO 31

ANALISIS DE VARIANZA PARA ENERGÍA EN EL PROCESO DE EXTRUIDO ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	24.4824000	24.4824000	604.01	7.71	21.2	**
Error	4	0.1621333	0.0405333				
Total	5	24.644533					

R²=0.993421

C.V.=0.051463 MSE=0.201329 Media= 391.2133

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
ECOTIPO AYARA	3	393.2333	A
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	389.1933	B

ANEXO 32

ANALISIS DE VARIANZA PARA ACIDEZ EN EL PROCESO DE EXTRUIDO

ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.0005037	0.0005037	15.11	7.71	21.2	*
Error	4	0.0001334	3.335E-05				
Total	5	0.0006371					

R²=0.790644

C.V=1.582085 MSE=0.005775 Media= 0.365003

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	0.374166	A
ECOTIPO AYARA	3	0.355840	B

ANEXO 33

ANALISIS DE VARIANZA PARA pH EN EL PROCESO DE EXTRUIDO

ECOTIPO AYARA Y VARIEDAD INIA 420 NEGRA COLLANA

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	Fc	F _{0.05}	F _{0.01}	Sig.
Tratamiento	1	0.0912667	0.0912667	5476.00	7.71	21.2	**
Error	4	6.667E-05	1.667E-05				
Total	5	0.0913333					

R²=0.999270

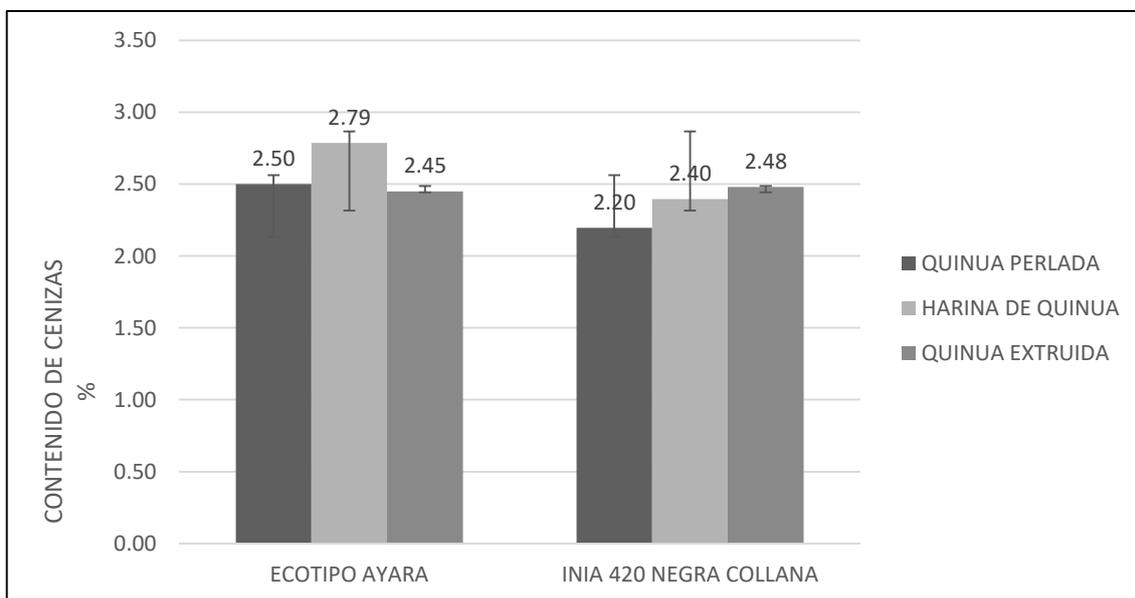
C.V=0.120903 MSE=0.004082 Media= 3.376667

RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

Tipo de quinua	n	Promedio	Duncan (P<0.05)
INIA 420 NEGRA COLLANA	3	3.500000	A
ECOTIPO AYARA	3	3.253333	B

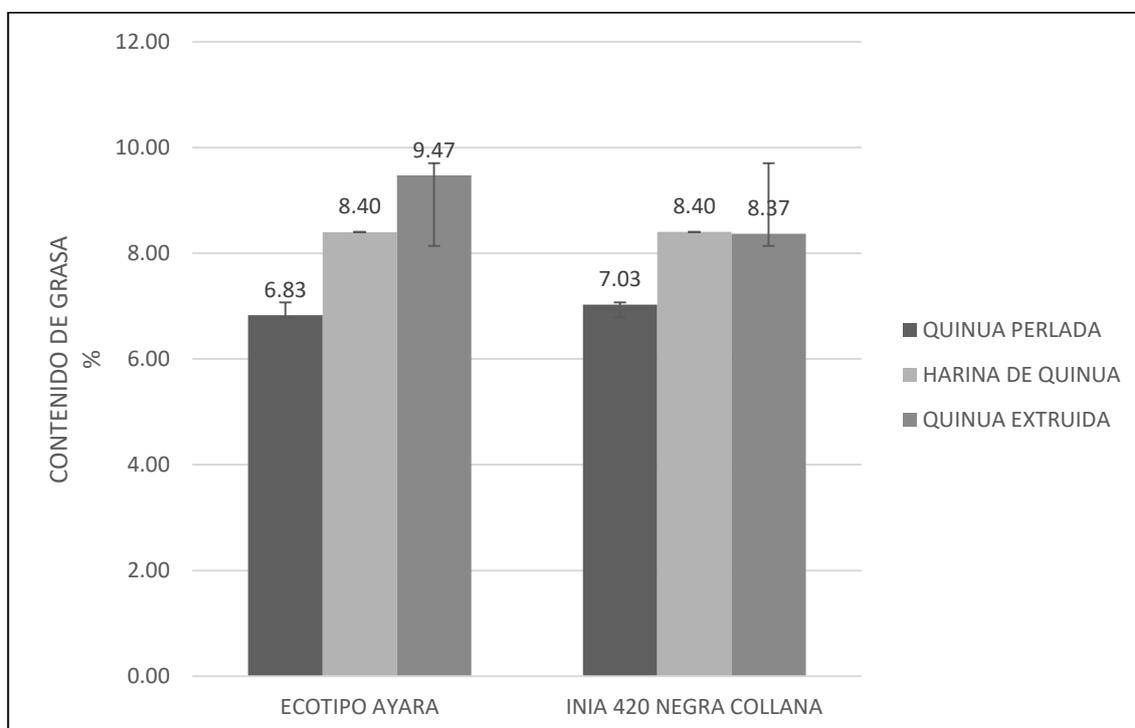
ANEXO 34

CONTENIDO DE CENIZAS EN TRES PROCESOS AGROINDUSTRIALES



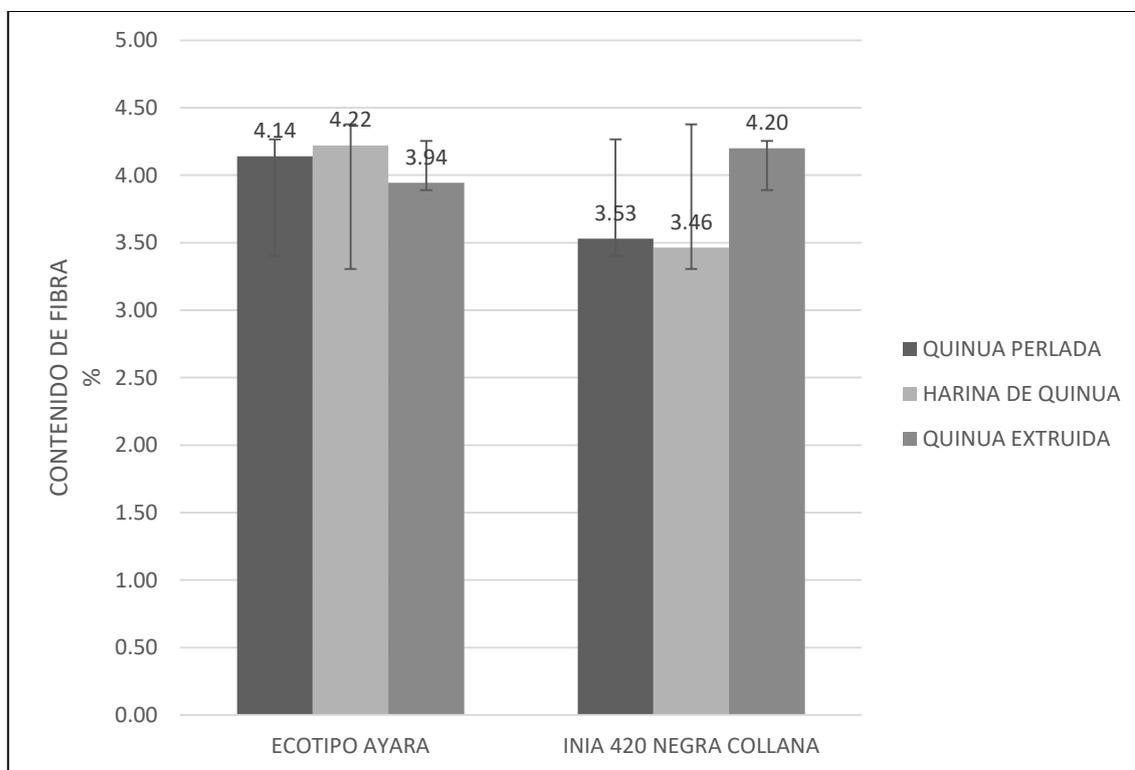
ANEXO 35

CONTENIDO DE LÍPIDOS EN TRES PROCESOS AGROINDUSTRIALES



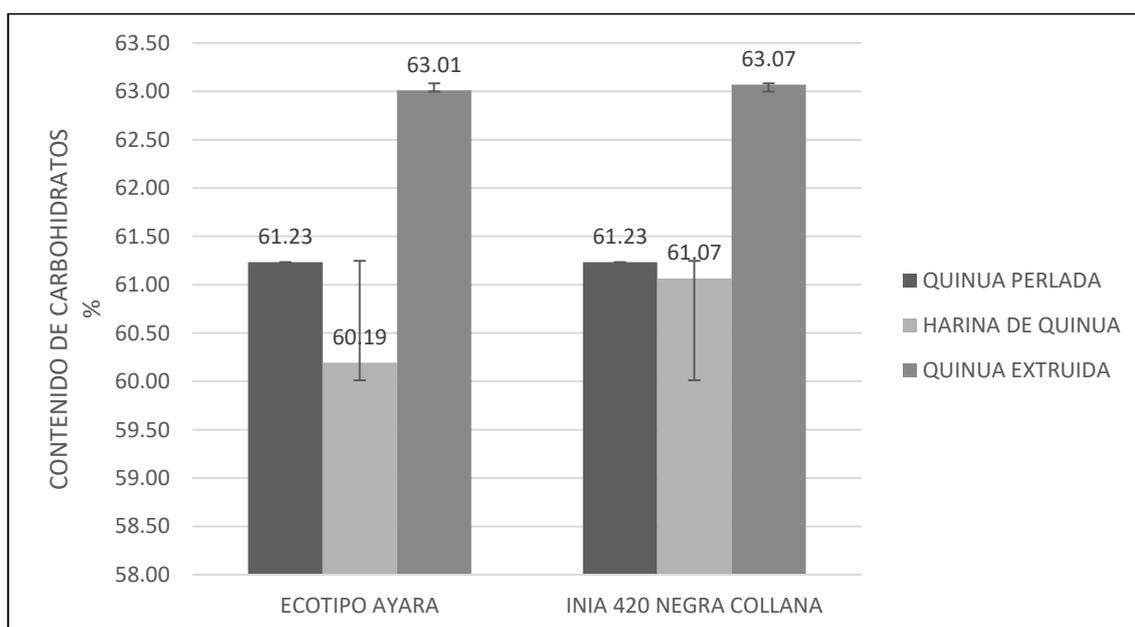
ANEXO 36

CONTENIDO DE FIBRA EN TRES PROCESOS AGROINDUSTRIALES



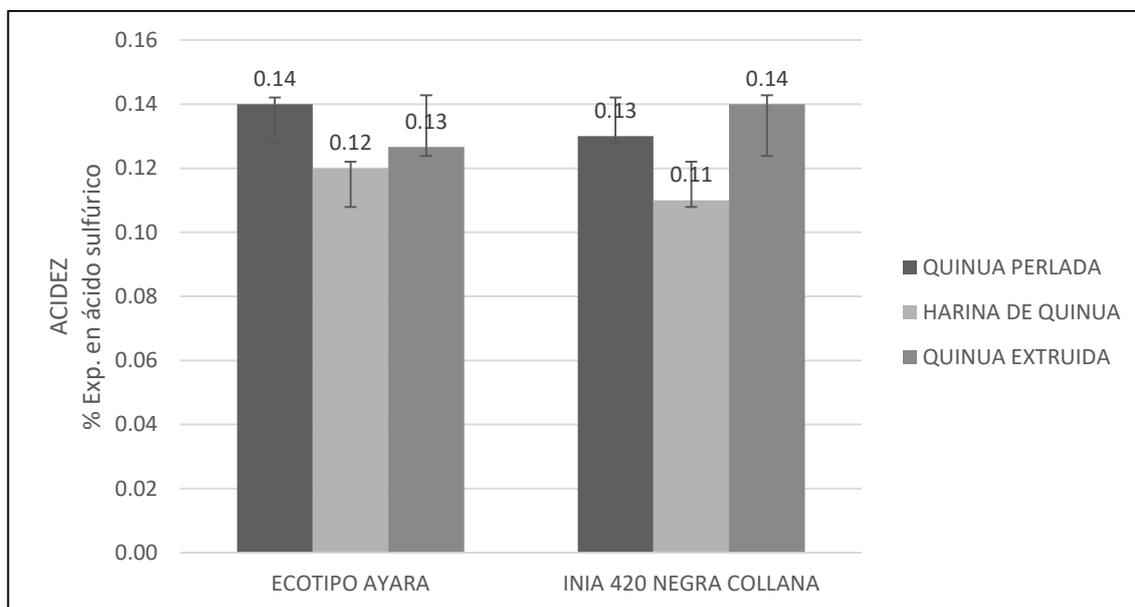
ANEXO 37

CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS EN TRES PROCESOS AGROINDUSTRIALES



ANEXO 38

CONTENIDO DE ACIDEZ EN TRES PROCESOS AGROINDUSTRIALES



ANEXO 39

CONTENIDO DE pH EN TRES PROCESOS AGROINDUSTRIALES

