

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS  
COMPUESTOS ANTIOXIDANTES DURANTE LA  
GERMINACIÓN Y EXTRUSIÓN EN LA CAÑIHUA  
(*Chenopodium pallidicaule* Aellen)”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**EFRAÍN JAVIER CASTILLO ZAPANA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE :**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO - PERÚ  
2010**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
“DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS COMPUESTOS  
ANTIOXIDANTES DURANTE LA GERMINACIÓN Y EXTRUSIÓN  
EN LA CAÑIHUA (*Chenopodium Pallidicaulen* Aellen)”

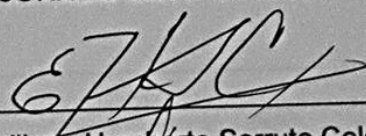
**TESIS**  
PRESENTADO POR:

**EFRAÍN JAVIER CASTILLO ZAPANA**  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE :  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

SUSTENTADO Y APROBADO POR EL JURADO CONFORMADO POR:

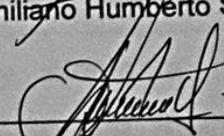
PRESIDENTE

:

  
Ing. Emiliano Humberto Serruto Colque.


PRIMER MIEMBRO

:

  
Ing. Wilber Incahuanaco Yucra

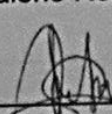
SEGUNDO MIEMBRO

:

  
Ing. Valerio Roque Illanes

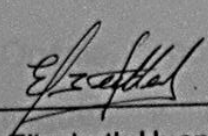
DIRECTOR DE TESIS

:

  
Ing. M.Sc. Roger Segura Peña

ASESOR DE TESIS

:

  
Ing. M.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

PUNO - PERÚ

2010

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Propiedades físicas y estructurales

## DEDICATORIA

A Dios, por darme vida y salud para lograr mis objetivos trazados.

Con mucho cariño, dedicatoria de eterna gratitud para mi madre MARTINA ZAPANA ESPINOZA, por darme la vida, su afecto y su ejemplo, quien siempre confió en mí, me motivó, perseveró y luchó por mi futuro, metas como triunfos que hoy se concretiza en mis profesiones.

Con mucho cariño y afecto a mis queridos hermanos: Manuel, Susana, Roxana y Yúrico, por haberme ellos brindado su apoyo incondicional y motivación permanente para mi superación.

A mis sobrinos: Aarón y Onásis, para que en el futuro lleguen a conseguir un mejor porvenir

EFRAÍN JAVIER

## AGRADECIMIENTO

### **Expreso mis sinceros agradecimientos:**

- ❖ A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por haberme brindado una formación profesional; a los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias y de manera a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por los conocimientos y enseñanzas impartidos durante mi formación profesional.
- ❖ A mi Asesor de Tesis Ing. M.Sc. Elizabeth Huanatico Suares, quien me motivó e incentivó motivándome incondicionalmente, para la realización de este trabajo de investigación; a quien le expreso mi más sincero agradecimiento.
- ❖ A mi Director de Tesis Ing. M.Sc. Roger Segura Peña, por su acertada dirección y asesoramiento, en la ejecución del presente Trabajo de Investigación.
- ❖ A los miembros del Jurado, Ing. Emiliano Humberto Serruto Colque, Ing. Wilber Incahuanaco Yucra e Ing. Valerio Roque Illanes, por sus valiosos aportes en la realización del presente Trabajo de Investigación.

A TODOS GRACIAS

## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>RESUMEN</b>	
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
2.1. Cañihua .....	4
2.1.1. Origen.....	4
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	6
2.1.3. Descripción botánica.....	6
2.1.4. Variabilidad genética.....	7
2.1.5. Valor nutritivo.....	8
2.1.6. Agroindustria de la cañihua.....	11
2.1.6.1. Agroindustria artesanal o rural.....	11
2.1.6.2. Agroindustria mejorada.....	11
2.1.7. Producción y rendimiento de la cañihua.....	13
2.1.7.1. Producción a nivel nacional.....	13
2.1.7.2. Producción a nivel del departamento de Puno.....	13
2.2. Germinación.....	15
2.2.1. Remojo.....	15
2.2.2. Germinación.....	19
2.2.3. Secado .....	21
2.2.4. Limpieza y enfriado del proceso de malteo.....	22
2.3. Cocción por extrusión .....	22
2.3.1. Principios básicos de la cocción-extrusión .....	24

2.3.2. Ventajas de la cocción-extrusión.....	26
2.3.3. Desventajas de la cocción-extrusión.....	27
2.3.4. Efecto sobre las características organolépticas.....	28
2.3.5. Efecto sobre el valor nutricional de los alimentos.....	28
2.3.6. Tipos de extrusores.....	34
2.3.6.1. Según su funcionamiento .....	34
2.3.6.2. Por su construcción .....	35
2.3.6.3. De acuerdo a sus características termodinámicas... ..	39
2.3.6.4. De acuerdo a la humedad de los ingredientes.... ..	40
2.3.6.5. Extrusores de bajo costo (lecs)... ..	40
2.4. Antioxidantes.....	41
2.4.1. Antioxidantes naturales.....	43
2.4.1.1. Carotenoides.....	43
2.4.1.2. Compuestos fenolicos.....	50
2.4.2. Capacidad antioxidante de los compuestos fenolicos.....	51
2.4.3. Efecto antioxidante en la oxidación lipídica.....	53
2.4.4. Estudios realizados en cereales andinos.....	56
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>57</b>
3.1. Materiales.....	57
3.1.1. Materia prima .....	57
3.1.2. Instrumentos y equipos de laboratorio.....	57
3.1.3. Materiales de laboratorio.....	58
3.1.4. Instrumentos, equipos de proceso .....	59
3.1.5. Reactivos.....	59
3.2. Metodología experimental.....	60

3.3. Diseño experimental.....	63
3.3.1. Variables de entrada o independientes .....	63
3.3.2. Variables de salida o dependientes .....	63
3.4. Diseño estadístico.....	63
3.5. Métodos de análisis.....	64
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>73</b>
4.1. Composición químico proximal de cañihua germinada .....	73
4.2. Composición químico proximal de cañihua germinada extruida.....	77
4.3. Compuestos fenolicos de cañihua germinada y cañihua germinada extruida.....	80
4.4. Capacidad antioxidante de cañihua germinada y cañihua germinada extruida.....	87
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>98</b>
<b>VIII.ANEXOS.....</b>	<b>106</b>

## INDICE DE CUADROS

Pág.

CUADRO No. 01	Composición química de macro y micro nutrientes de una porción comestible de 100 g de cañihua.	9
CUADRO No. 02	Contenido de aminoácidos esenciales de la cañihua.	10
CUADRO No. 03	Producción de cañihua en el Perú por departamento campaña agrícola 1999/2000.	13
CUADRO No. 04	Superficie sembrada, cosechada, producción y rendimiento de cañihua en el departamento de Puno.	14
CUADRO No. 05	Clasificación de extrusores según la humedad de trabajo.	40
CUADRO No. 06	Composición química proximal del grano de cañihua y de cañihua germinada.	73
CUADRO No. 07	Composición química proximal de la cañihua germinada extruida.	77
CUADRO No. 08	Compuestos fenólicos de los derivados de cañihua (mg de ácido gálico/100g).	80
CUADRO No. 09	Capacidad antioxidantes de los derivados de cañihua (umol trolox equiv./100g).	88



## INDICE DE FIGURAS

		<b>Pág.</b>
Figura1	Evolución de la actividad respiratoria durante la germinación.	18
Figura2	Diagrama de Flujo para la Obtención de harina de cañihua germinada y extruida.	61
Figura3	Comparación de la Composición químico proximal de la cañihua germinada en periodos de 48, 72 y 96 horas.	75
Figura4	Comparación Proteica de los granos de cañihua y sus derivados.	79
Figura5	Comparación de compuestos fenólicos mg de ácido gálico/100 g de los derivados de cañihua.	82
Figura6	Comparación de medias de compuestos fenólicos para cañihua germinada.	83
Figura7	Gráfico de caja y bigotes de compuestos fenólicos para cañihua germinada.	84
Figura8	Comparación de medias de compuestos fenólicos para cañihua germinada.	86
Figura9	Gráfico de caja y bigotes de compuestos fenólicos para cañihua germinada.	87
Figura10	Comparación de la Capacidad Antioxidante mg de ácido gálico/100 g de los derivados de cañihua.	89
Figura11	Comparación de medias de capacidad antioxidante para cañihua germinada.	91
Figura12	Gráfico de caja y bigotes de capacidad antioxidante para cañihua germinada.	92
Figura13	Comparación de medias de capacidad antioxidante para cañihua germinada.	93
Figura14	Gráfico de caja y bigotes de capacidad antioxidante para cañihua germinada.	94

## LISTA DE ANEXOS

Resumen estadístico para compuestos fenólicos.....	106
ANOVA para compuestos fenólicos por germinado.....	107
Medias para compuestos fenólicos por germinado con intervalos de confianza del 95.0 %.....	107
Pruebas de múltiples rango para compuestos fenólicos por germinado métodos: 95.0 porcentaje tukey HSD .....	107
Resumen Estadísticos para compuestos fenólicos.....	108
ANOVA para compuestos fenólicos por extruido.....	109
Tabla de medias para compuestos fenólicos por extruido con intervalos de confianza del 95.0%.....	109
Pruebas de Múltiples Rangos para compuestos fenólicos por Extruido. Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD .....	109
Resumen Estadístico para capacidad antioxidante germinado.....	110
Tabla ANOVA para Capacidad antioxidante por germinado.....	111
Medias para Capacidad antioxidante por geminado con intervalos de confianza del 95.0%.....	111
Pruebas de Múltiples Rangos para capacidad antioxidante por germinado. Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD .....	111
Resumen estadístico para capacidad antioxidante Extruido.....	112
ANOVA para capacidad antioxidante por Extruido .....	113
Medias para capacidad antioxidante por Extruido con intervalos de confianza del 95.0% .....	113
Pruebas de Múltiples Rangos para Capacidad antioxidante por Extruido. Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD .....	113
Fotos del germinado de granos de cañihua.....	114
Fotos de granos de cañihua germinada .....	114
Fotos de un Extrusor monotornillos.....	115

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la estabilidad de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante durante el germinado y extrusión, sobre los aminoácidos de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) de la variedad cupi. Estudio que se efectuó en tres fases, germinación, cocción –extrusión y evaluación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos.

Asimismo, se realizó la determinación del contenido de compuestos fenólicos durante la germinación y extrusión, en cuanto a las pruebas de germinación, la cañihua se ha germinado durante 96 horas y en la cual presentó mayor contenido de compuestos fenólicos con un valor de 351.1 mg de ácido gálico Equiv./100g. Para efectos de comparación se extruyó la cañihua y esta presentó 208.8 mg de ácido gálico Equiv./100g, cuyo valor es inferior con respecto a la cañihua procesada. Y en cuanto a la cocción extrusión, la cañihua germinada por 72 horas extruida presenta valores superiores a los otros tratamientos con un valor de 446.4 mg de ácido gálico Equiv./100g. Concluyéndose que conforme se incrementa el tiempo de germinación el contenido de compuestos fenólicos aumentan y con la cocción extrusión se incrementan hasta lograr una estabilidad y luego disminuye con el tiempo de germinado.

De otra parte, se hizo la determinación de la capacidad antioxidante mediante el método ABTS, en el que la cañihua extruida presentó 2093.9  $\mu$ mol trolox Equiv./100g, valor inferior con respecto a los demás tratamientos;

en cuanto a los germinados la cañihua germinada por 96 horas presentó mayor capacidad antioxidante con un valor de 4432.5 umol trolox Equiv./100g y en cuanto a la cocción extrusión la cañihua germinada por 72 horas extruida

presentó valores superiores a los otros tratamientos con un valor de 5237.2 umol trolox Equiv./100g. Concluyéndose que conforme se incrementa el tiempo de germinación la capacidad antioxidante aumenta y con la cocción extrusión se incrementa hasta lograr una estabilidad y luego disminuye con el tiempo de germinado.

Finalmente, se realizó la determinación de la composición químico proximal a los diferentes tratamientos, donde el contenido proteico durante el proceso de germinación se incrementa con el tiempo, la cañihua germinada por 96 horas fue la que presentó mayor contenido de proteínas de alrededor del 17,7%. mientras que durante el proceso de cocción extrusión, la cañihua germinada y extruida por 96 horas presenta niveles superiores de alrededor 18% de contenido de proteínas, debido a la perdida de humedad durante el proceso de la cocción extrusión.

**Palabras clave:** cañihua, *Chenopodium pallidicaule*, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, germinado, cocción extrusión.

## I. INTRODUCCIÓN

La Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) tiene como origen la región de los Andes del sur de Perú y de Bolivia, distribuyéndose en las regiones semiáridas más altas; soporta bien los climas rigurosos con heladas, sequías y bajas temperaturas; es probablemente el cultivo de grano que resiste mejor las bajas temperaturas (-3 °C), sin afectar su producción.

La importancia de la agroindustrialización de la cañihua como una alternativa de desarrollo para productores que vienen cultivando en pequeñas parcelas, por lo que es vital que su producción sea incorporada a la agroindustria local. A su vez el cultivo de la cañihua es menos riesgoso, porque esta adaptada a las duras condiciones climáticas, a suelos pobres y es producido con una mínima inversión de recursos económicos y humanos.

Se debe destacar que, en la actualidad los productos denominados olvidados son fuente de compuestos funcionales, los que deben de ser estudiados adecuadamente y difundidos, con la finalidad de ofrecer en el mercado local y nacional productos funcionales derivados a base de estos productos tal es el caso de la cañihua, con una información completa de sus propiedades por lo que es necesario efectuar estudios sobre los efectos de los diferentes tratamientos post-cosecha (secado, germinación, extrusión, etc.) sobre las propiedades nutricionales y funcionales de los mismos.

Al mismo tiempo en los últimos años, la sociedad ha demostrado un creciente interés en saber y entender las posibles relaciones entre la alimentación y la salud, ya que los productos alimenticios siempre fueron elaborados con el objetivo de satisfacer las exigencias del consumidor en cuanto al sabor, apariencia, valor y comodidad. Ahora el consumidor manifiesta preferencias claras por aquellos alimentos que se consideran benéficos para la salud. Con este fin se vienen desarrollando constantes investigaciones en los alimentos con efecto benéfico para la salud. Existe un creciente interés por los antioxidantes procedentes de fuentes comestibles (vegetales) que juegan un papel importante en la prevención de la mayoría de las reacciones oxidativas, tanto en las proteínas, grasas y ácidos nucleicos que ocurre a nivel del cuerpo humano.

La cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) está entre la especie valiosas heredada de nuestros antepasados. Éstas constituyen una de las bases del alimento en el habitante andino, al cual se le ha atribuido una serie de efectos terapéuticos. Sin embargo, su potencial no ha sido del todo estudiado.

Para el presente Trabajo de Investigación se planteó los siguientes objetivos:

- Determinar la estabilidad de los compuestos antioxidantes en la cañihua durante la germinación y extrusión en la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen).

- Evaluar la estabilidad de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en el germinado de cañihua.
- Evaluar la estabilidad de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en el extruido de cañihua germinada.



## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 CAÑIHUA

#### 2.1.1 ORIGEN

La cañihua es originaria de los Andes del Sur del Perú y de Bolivia, propia del Altiplano andino, fue domesticada por los pobladores de la cultura Tiahuanaco, en la meseta del Collao. Se distribuye en las regiones semiáridas más altas de los Andes centrales en Perú y Bolivia con mayor concentración en la región del Altiplano, en donde se producen para la alimentación humana en altitudes entre 3800 y 4300 m.s.n.m. siendo muy resistente al frío en sus diferentes fases fenológicas. (Hernández y León 1992)

La hoya del Lago Titicaca entre Perú y Bolivia, se considera como el sub-centro de origen, habiéndose encontrado una mayor variabilidad genética en la zona de Cupi-Macarí en la Provincia de Melgar, Departamento de Puno-Perú, otro sub-centro de origen se considera a la zona de Cochabamba-Bolivia. (Lescano, 1994 citado por Mujica, et al 2002) asimismo menciona que en el año de 1929 el botánico Suizo Paúl Aellen creó la denominación *Chenopodium pallidicaule* para este cultivo probablemente en base a un espécimen de tallo amarillo.

En estas áreas la cañihua ha tenido éxito por sus características agronómicas de notable resistencia a las bajas temperaturas. El área de mayor concentración de campos cultivados en esta especie se sitúa, en la parte noreste del altiplano alrededor de las poblaciones de Llalli, Macari,



Ayaviri, Nuñoa, Huancane en el departamento de Puno, Perú, donde se ha calculado entre 5000 y 6000 hectáreas en 1986(Tapia, 1990). Se vende en Puno, Sicuani y Pucara (Cabieses, 1996).

En Bolivia se cultiva en el departamento de la Paz, el área de Pacajes y zonas altas de la provincia de Omasuyos y alrededor de independencia en el departamento de Cochabamba.

El cultivo de la cañihua se concentra principalmente en la zona norte del Altiplano peruano en la provincia de Melgar, departamento de Puno, encontrándose áreas de distribución mas pequeñas hasta el norte del departamento de Oruro, también se ha encontrado una menor área de distribución en las zonas altas del departamento de Cochabamba en Bolivia (Lescano, 1997).

La cañihua es una especie cultivada por los indios Uros que habitan en el sur del Lago Titicaca en una de las áreas mas despobladas del Altiplano, no siembran ningún cultivo solo viven de hierbas aunque hay entre ellas una simiente semejante al mijo, la cual crece de manera espontánea sin cultivarla y la llaman quinua y cañagua, comen el grano y las hojas (Vargas, 1938).

### 2.1.2 CLASIFICACION TAXONOMICA

Según Frías, (1997), la clasificación taxonómica es como sigue:

- Reino : Vegetal
- División : Fanerógamas
- Clase : Angiospermas
- Sub clase : Dicotiledóneas
- Orden : Centrospermales
- Familia : Chenopodiáceas
- Especie : *Chenopodium pallidicaule* Aellen
- Nombre común : Qañiwa, cañihua, cañahua.

### 2.1.3 DESCRIPCION BOTANICA

La cañihua es una planta terófito herbácea de porte bajo, de 20 a 80 cm de alto, erguida o ramificada, cuyo fruto es un aquenio más pequeño que la quinua, cubierto de un perigonio y con ausencia de saponina, de forma lenticular de uno a 1,2 mm, (Tapia, 2000); a su vez (Hernández y León, 1992) manifiestan que el diámetro del grano es de 0,5 a 1,5 mm de diámetro. Existe una gran variación de colores y estos se relacionan con su mayor o menor resistencia a las heladas, los de colores claros, blancos, amarillos y anaranjados, resisten menos que las de colores oscuros, como las moradas, rojas o negras.

**Sinonimias.-** La cañihua, botánicamente es conocida como *Chenopodium pallidicaule* Aellen, en el Perú se le conoce como Kañihua y en Bolivia como cañahua; en el altiplano de Perú es conocido con diferentes nombres según el idioma, las zonas homogéneas de producción y el uso; así

en quechua se denomina Kañihua. Cañahua, cañigua qañiua y en aymará como Kañahua, cañihua, cañahua, Kañihua.

#### 2.1.4 VARIABILIDAD GENÉTICA

La cañihua tiene una gran variabilidad genética bien representada en la colección de la Estación Experimental Camacani de la Universidad Nacional del Altiplano (Puno). Consiste en 339 accesiones de Perú y 26 accesiones de Bolivia. (Lescano, 1997)

Los cultivares conocidos en el Perú son: 'Cupi', 'Ramis', 'Akallapi', 'Huanaco', 'Rosada', 'Chillihua', 'Condorsaya', 'K'ellu', 'Puca'; en Bolivia: 'Kanallapi', 'Chusllunca' e 'Issualla (Vallenas, 1974 citado por Hernández & León 1992). Crecen en forma silvestre y entre cultivos de papa amarga con frecuencia las denominadas 'Mama cañihua', 'Machu cañihua', y 'K'ita cañihua', que son los parientes más cercanos de la cañihua, las formas silvestres pueden alcanzar tamaños considerables en buenas condiciones de fertilidad; estas plantas son cosechadas y consumidas en años de escasez. (Hernández y León, 1992)

Según Mujica, *et al* (2002), el INIA y la UNA-Puno han realizado esfuerzos y aportes importantes en la obtención de variedades de Cañihua a través de métodos de selección y estudios de estabilidad de rendimiento; lográndose obtener las variedades siguientes:

- Variedad Cupi, tipo Lasta, de doble propósito grano/forraje, de buena calidad para harina, altamente tolerante a las heladas, periodo vegetativo de 140 a 150 días y rendimiento de 2.5 a 3 t/ha
- Variedad Ramis, tipo Lasta, producción de grano grande, de buena calidad para harina, altamente tolerante a las heladas, periodo vegetativo de 140 a 150 días y rendimiento de 1.5 a 2.5 t/ha

### 2.1.5 VALOR NUTRITIVO

El grano de cañihua tiene un elevado contenido en proteínas de 15 a 19 % y al igual que la quinua tiene una proporción importante de aminoácidos azufrados. A su vez se distinguen por su buen contenido de minerales, pero su verdadero valor radica en la calidad de la proteína, estos granos contienen aproximadamente el doble de lisina y metionina que los cereales como trigo, arroz, maíz y cebada, a su vez la cañihua tiene la ventaja de no poseer saponinas, a diferencia de la quinua, lo cual facilita su utilización y calidad nutricional. (FAO, 2000)

En el Cuadro 01, se presenta la composición química de la cañihua, existiendo una gran variación en la composición química de estos granos, la que depende de su variedad genética, edad de maduración de la planta, localización del cultivo y la fertilidad del suelo. (FAO, 2000)

**CUADRO No. 01**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MACRO Y MICRO NUTRIENTES DE UNA  
PORCIÓN COMESTIBLE DE 100 g DE CAÑIHUA**

COMPONENTE	Cañ. <sup>1</sup>	Cañ. <sup>1</sup>	Cañ. <sup>1</sup>	Cañ. <sup>2</sup>	Cañ. <sup>2</sup>	Cañ. <sup>2</sup>	Cañ. <sup>2</sup>	Cañ. <sup>3</sup>
	Cupi	Ramis	Ramis	amarilla	gris	hojuela	parda	Cupi
Proteínas (g)	16.32	14.93	14.93	14.3	14	17.6	13.8	16.9
Grasas (g)	7.29	8.80	8.80	5.0	4.5	8.3	3.5	6.34
Carbohidratos (g)	57.65	51.72	51.72	62.8	64	61.7	65.2	55.46
Fibra (g)	8.25	9.83	9.83	9.4	9.8	11.2	10.2	5.3
Ceniza (g)	2.55	2.47	2.47	5.9	5.1	4.3	5.3	5.8
Humedad (g)	7.94	12.25	12.25	12	12.4	8.1	12.2	10.2
Energía (Kcal)*	371.07	355.11	355.11	340	344	379	440	346.50
Calcio (mg)	--	--	--	87	110	171	141	--
Fósforo (mg)	--	--	--	335	375	496	387	--
Hierro (mg)	--	--	--	10.8	13	15	12	--
Tiamina (mg)	--	--	--	0.62	0.47	0.57	0.67	--
Riboflavina (mg)	--	--	--	0.51	0.65	0.75	0.30	--
Niacina (mg)	--	--	--	1.2	1.13	1.56	1.45	--
Acido Ascórbico (mg)	--	--	--	2.2	1.1	--	--	--

**Fuente:** 1. Sucari y Sota (2003)

2. Collazos (1996)

3. Huanatico (2008)

El valor nutritivo de una proteína depende de la medida en que aporte las cantidades de nitrógeno y aminoácidos requeridas para satisfacer las necesidades del organismo. Así pues, en teoría, evaluar la calidad de una proteína consiste en comparar el contenido de aminoácidos de un alimento y las necesidades de aminoácidos del cuerpo humano. (FAO – OMS, 1989)

El grano de cañihua al igual que la quinua y la kiwicha, presenta una proporción importante de aminoácidos azufrados. (Mujica, et al 2002).

El Contenido de Aminoácidos esenciales de la cañihua, se presenta en el Cuadro 02, la que es de vital importancia para efectuar una comparación con el patrón de aminoácidos esenciales para todas las edades a excepción de los menores de un año. (FAO/OMS, 1985 citado por Huanatico, 2008)

### CUADRO No. 02

#### CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES DE LA CAÑIHUA

Aminoácidos	Cañ. <sup>1</sup> pardo	Cañ. <sup>1</sup> claro	Cañ. <sup>1</sup> plomiza	Cañ. <sup>2</sup>	Cañ. <sup>3</sup>	Cañ. <sup>4</sup>	Cañ. <sup>5</sup>
Proteína (g)	14.3	13.8	14.0				
Fenilalanina	3.18	3.64	3.72	3.72	3.7	3.1	3.7
Triptófano	0.85	0.80	0.74	0.74	0.9	--	0.9
Valina + Metionina						8.7	
Metionina	1.40	1.70	1.71	1.71	3.0		3.0
Leucina	5.44	5.86	6.08	6.08	6.1	9.4	6.1
Isoleucina	5.80	6.84	4.25	6.53	3.4	5.6	3.4
Valina	4.53	4.72	6.25	4.25	4.2		4.2
Lisina	5.53	6.28	6.25	6.25	5.3	4.8	5.3
Treonina	4.41	4.89	4.68	4.68	3.3	7.5	3.3
Arginina	7.62	7.76	8.23	8.33	8.3	8.4	8.3
Histidina	--	--	2.67	2.67	2.7	3.6	2.7

**Fuente:** 1. Collazos, (1996). En 100g de proteína de cañihua.

2. Collazos y col, (1993) citado por Berna (1995). Contenido centesimal de aminoácidos.

3. Repo-Carrasco, (1992) citado por Berna (1995). Contenido centesimal de aminoácidos.

4. Berna, (1995). g/100g de proteína.

5. Repo-Carrasco, (1992). mg de aa/16 g N

## **2.1.6. AGROINDUSTRIA DE LA CAÑIHUA**

### **2.1.6.1 Agroindustria artesanal o rural**

El procesamiento primario de la cañihua mas usado en el Perú es la obtención de cañihuaco (UNA, 2000) y el pito de cañihua en Bolivia. La preparación del Cañihuaco consiste en tostar el grano limpio con mucho cuidado para evitar que se queme, luego se muele manualmente utilizando pequeños molinos de piedra especialmente labrados que se denomina “Kona”, el producto obtenido es una harina muy fina, aromática, la que es ampliamente conocida con el nombre de cañihuaco. Es un proceso relativamente laborioso, pero reconfortante al consumir; se estima que en un día se puede procesar entre 12 y 15 kilos de cañihuaco.

Este producto puede consumirse solo o en mezcla con agua, leche, agua hervida, harina de cebada y con otras harinas para elaborar mazamoras, también se puede preparar, sopas, cremas, guisos, postres, torrijas, bebidas calientes, tortas, kispino, que es un panecillo pequeño elaborado a base de harina de cañihua y cocido al vapor, tiene consistencia de galleta o pan de agua que se conserva por un tiempo relativamente prolongado, permitiendo al campesino llevarla en sus largas caminatas o faenas agrarias, lo que no puede hacerse con el Pan. (Blanco de Alvarado et. al (1982) y tapia (1990)).

### **2.1.6.2 Agroindustria mejorada**

El principio y fundamento de la agroindustria mejorada es la utilización de tecnologías apropiadas, adaptadas y de bajo costo, que se aplica a la materia prima, a la transformación, al envasado, a la

conservación, almacenamiento y distribución de alimentos, a fin de que estos sean disponibles en cantidad, calidad, sanos e inocuos para la alimentación y nutrición de la población en constante aumento.

### **Limpieza de materia prima**

Para la limpieza del grano de cañihua se dispone de maquinas, que aprovechan corrientes de aires y disposición de zarandas, mesas de gravedad o mesa densimetrica que permiten separar del grano, todas las impurezas tales como trozos de tallo, hojas, perigonios, tierra, arena, cuyos rendimientos varían desde 150 kg/ha hasta 500 o 1000 kilos/hora dependiendo del tamaño de las zarandas, de tal manera que se obtiene una materia prima limpia y optima para su posterior transformación.

### **Mezcla de la cañihua con otros granos**

Al respecto Repo-Carrasco (1992) efectuó mezclas de Cañihua con otros granos para la obtención de papillas y bebidas

De las mezclas de cañihua con otros granos, se realizo una primera selección de 8 mezclas, cuyos resultados de análisis se muestra en el cuadro 9, donde se observa que existe una excelente complementación en la mejora del contenido de proteína, alcanzando a obtener los más altos contenidos de proteína, las mezclas de cañihua con leguminosas, aunque la mezcla cañihua-quinua-haba, presento una mejora en el contenido de proteínas en la proporción 15-75-10. (Repo-Carrasco, 1992)



## 2.1.7 PRODUCCION Y RENDIMIENTO DE LA CAÑIHUA

### 2.1.7.1 PRODUCCION A NIVEL NACIONAL

Los principales Departamentos productores de cañihua se muestran en el Cuadro 03, donde el Departamento de Puno, representa el 96% de la producción nacional, seguido de Cusco con 3,24%, probablemente debido a las condiciones agro climáticas adecuadas para el cultivo como son las temperaturas mínimas (-10°C), temperaturas máximas (20 °C), humedad relativa promedio de 55%, precipitación de 500-800 mm anuales y fotoperíodo de ocho a 10 horas sol y al conocimiento y manejo de diferentes sistemas de producción como son las Aynokas, Canchas, Andenes, Cochas, Waru warus y rotación de cultivos. (Mujica, et al 2002)

#### CUADRO No. 03

#### PRODUCCIÓN DE CAÑIHUA EN EL PERÚ POR DEPARTAMENTO CAMPAÑA AGRÍCOLA 1999/2000

Departamento	Producción (t)	Porcentaje de Producción
Puno	4 320	96.58
Cusco	145	3.24
Arequipa	8	0.18
TOTAL	4 473	100

Fuente: INEI, (2001) citado por Mujica, (2002).

### 2.1.6.2 PRODUCCION A NIVEL DEL DEPARTAMENTO DE PUNO

Durante el periodo 1993 a 2005, los rendimientos aumentaron de 608 a 670 Kg/ha con un promedio de 646.07 Kg/ha, la producción de cañihua aumentó de 2795 a 4320 toneladas con un promedio de 3651.46

toneladas, las cuales se muestran en el Cuadro 04. (Dirección Regional Agraria, 2005). El consumo per cápita en el sector rural es de 5.83 kg/hab/año, mientras que en el sector urbano apenas alcanza 0.09 kg/hab/año; lo que nos hace ver que no hay un hábito de consumo de este producto, que no existe difusión ni conocimiento sobre la utilización de alimentos de alto valor nutritivo, conocimiento sobre las diferentes formas de su preparación y presentación, comprensión sobre el cuidado de la salud a base del consumo de alimentos sanos.

**CUADRO No. 04**

SUPERFICIE SEMBRADA, COSECHADA, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CAÑIHUA EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO.

<b>Campaña Agrícola</b>	<b>Superficie sembrada (ha)</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>	<b>Producción (t)</b>	<b>Rendimiento (Kg/ha)</b>
1993	4705	4598	2795	608
1994	5060	5050	2967	588
1995	4995	4995	2767	554
1996	4272	4242	2761	651
1997	5503	5220	3363	644
1998	5631	5631	3842	682
1999	5476	5476	3815	697
2000	5492	5485	3586	654
2001	6358	6358	4503	644
2002	6382	6139	4503	688
2003	6456	6120	4160	665
2004	6762	6032	4087	654
2005	2365	6288	4320	670

**Fuente:** Dirección Regional Agraria, (2005)

## 2.2 GERMINACION

La cebada es el cereal que más se usa para el malteado, en teoría cualquier cereal se puede maltear sin embargo el tipo y la cantidad de enzimas varían de uno a otro cereal. El proceso de malteado trata fundamentalmente de solubilizar el almidón, proteínas, producto de degradación enzimático, vitaminas, minerales, componentes responsables del color y del aroma (Ritva, 1993 y Pascual, 2000). El malteo es el proceso de germinación controlada que libera una dotación de enzimas capaces de convertir el almidón del cereal en azúcares fermentecibles (Kent, 1987). Asegurar el suministro adecuado de aminoácidos y de otros nutrientes para las levaduras y modificar la cualidad de las macromoléculas. (Ritva, 1993 y Pascual, 2000)

### ETAPAS DEL PROCESO DE GERMINACION

La germinación o malteo consta de tres etapas: remojo, germinación y secado. El grano seleccionado y limpio es sumergido en agua hasta alcanzar la humedad deseada, esta etapa se denomina remojo; el grano de cereal húmedo se germina bajo condiciones controladas, al final de esta etapa, cuando los cambios físicos y bioquímicos han llegado hasta cierto nivel en el grano, se procede al secado mediante una corriente de aire caliente. (Hough-Briggs, 1971 citado por Risi, 1985).

#### 2.2.1 REMOJO

El primer proceso que tiene lugar durante la germinación es la toma de agua por la semilla, conocida como fase de la imbibición, la que esta determinada por tres factores: *composición química* de la semilla, las semillas ricas en proteínas absorben gran cantidad de agua, mientras que

las oleaginosas absorben menos; *permeabilidad* de la envuelta seminal y *disponibilidad* de agua en el medio ambiente. La imbibición es un proceso físico sin ninguna relación con la viabilidad de las semillas, ya que ocurre igual en semillas vivas que en semillas muertas por el calor. Durante la imbibición las moléculas del solvente penetran en el interior de la semilla provocando un hinchamiento y un aumento en el peso fresco de la misma, entre un 40 y un 50 por 100 del peso seco. La entrada de agua en el interior de las semillas da lugar a una dispersión de los coloides, necesaria para la vuelta a la vida activa, rehidrata las reservas alimenticias, que sólo pueden transformarse en sustancias asequibles al embrión en presencia de agua; por último los sistemas enzimáticos responsables de la hidrólisis de las sustancias de reserva sólo se activan en presencia de agua que los hidrate. (Barceló, et al 2001)

El objetivo primordial es hidratar el grano bajo condiciones aeróbicas de tal manera la humedad absorbida propicie la generación de fitohormonas llamadas giberelinas que desencadenan el suceso fisiológico de la germinación, el agua penetra en el grano por difusión principalmente a través del germen, la tasa de hidratación es alta en el comienzo del proceso y lenta en las etapas posteriores, generalmente, la operación se realiza remojando los granos en el agua por simple inmersión por 24 – 80 hrs. Hasta incrementar la humedad de la cebada de un 42 – 45%. (Othón, 1996). Sin embargo para la cañihua es recomendable un remojo por 14 horas, la semilla en este tiempo llega a 45.9% de humedad considerada como suficiente para iniciar el proceso de germinación, descartándose los tiempos menores a este. (Berna, 1995).

Se realiza en tanques verticales con base cónica o cilindros verticales de pequeña altura con fondo plano. El intervalo de temperatura normal del agua de remojo es 10 a 20 °C aunque generalmente se emplea una temperatura de 15 °C, su volumen incrementa en aproximadamente 25%, el remojo se interrumpe cada ocho a 12 horas por un lapso de dos horas para luego volver a cubrir el grano con agua, a esta condición se le conoce como descanso del aire y permite que el embrión respire oxígeno y metabolice aeróbicamente. (Othón, 1996 y Pascual, et al 2000)

La toma de agua por la semilla seca madura es trifásica, (Barceló, et al 2001), las que se detalla a continuación:

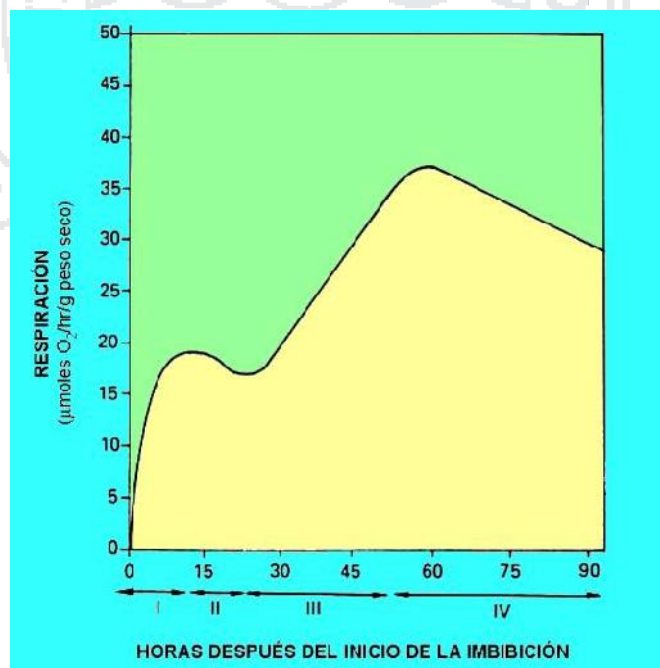
- **Fase I:** Denominado también de hidratación, se caracteriza por una toma rápida inicial debida, ya que el potencial hídrico de la semilla es mucho más bajo que el del medio húmedo que la rodea; la entrada de agua en esta fase puede producir algunas perturbaciones estructurales temporales, particularmente en las membranas, lo que provoca una rápida e inmediata salida de solutos y metabolitos de bajo peso molecular al medio. Este es un síntoma indicativo de la transición de los fosfolípidos de la membrana desde la fase de gel adquirida durante la desecación al estado hidratado normal. En un breve período de tiempo las membranas recuperan su configuración estable y el goteo de solutos se interrumpe.
- **Fase II:** Denominado una fase de meseta, durante esta fase tienen lugar los principales acontecimientos metabólicos que conducen a la

emergencia de la radícula en semillas no durmientes. Las semillas durmientes son también metabólicamente activas en esta fase. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse. Sólo las semillas aptas para germinar entran en la Fase III.

- **Fase III:** O de crecimiento, en la que tiene lugar un nuevo incremento en la toma de agua y que es concurrente con la elongación de la radícula.

Uno de los cambios que se observa durante la imbibición, es la reanudación de la actividad respiratoria, que puede ser detectada al cabo de algunos minutos, en el proceso de toma de oxígeno. Básicamente, en el proceso de **toma de oxígeno** pueden distinguirse tres o cuatro fases, según (Barceló, et al 2001).

FIGURA 1: Evolución de la actividad respiratoria durante la germinación.



Fuente: Barcelo (1984)

### 2.2.2 GERMINACION

Después de concluir la etapa de remojo, se procede a germinar los granos bajo condiciones especiales para lograr la **activación enzimática** deseada, la división celular y el desarrollo de la radícula y plúmula, el proceso se lleva a cabo en camas de germinación con controles de temperatura y humedad relativa, es el proceso que más tiempo tarda generalmente entre cuatro a seis días, la germinación en piso o tradicional es todavía muy práctica. (Othón, 1996). El primer signo de germinación es la protuberancia de un punto blanco en la semilla. (Baxter y Hughes, 2004). Durante la germinación se hace circular aire y la duración de la germinación es variable entre tres a nueve días, terminando cuando la raíz alcanza una longitud de dos veces el tamaño del grano como máximo, (Pascual y Ramos, 2000). Para la cañihua se requiere de cuatro días de germinación a temperaturas menores a 20°C. (Berna, 1995)

Los primeros intentos para mecanizar el malteado fueron acometidos por Galland a fines del siglo XIX, quien hizo pasar aire a través de la cebada en germinación mantenida en una caja; la caja de grano en las malterías neumáticas puede alcanzar hasta 1,5 m de espesor. El primer signo de germinación es la protuberancia de la coleorriza o camisa de la raíz, posteriormente producirá raicillas o brotes. En este momento el coleoptilo conteniendo la primera hoja, habrá penetrado el epispermo y el pericarpio. A este crecimiento se denomina plúmula y sirve al maltero para estimar la velocidad de germinación. Cuando la plúmula alcanza aproximadamente tres cuartos de la longitud del lado dorsal del grano, el proceso de germinación se considera completado. (Hornsey, 2003 y Molina, 1989).

## A.- BIOQUÍMICA DE LA GERMINACIÓN

El embrión al activarse al estado latente induce la secreción de enzimas que se difunden por todo el endospermo y después de disolver las paredes celulares, desdoblan el almidón, la proteína y los fosfatos orgánicos. (Molina, 1989). La modificación se inicia cuando el embrión que crece segrega ácido giberelico, una hormona vegetal natural que induce a la producción de enzimas que alteran la estructura del endospermo, entre estas figuran - gluconasas, – oligosacaridos y pentosanas, que disuelven el material que liga las paredes celulares del endospermo y ayudan a liberar los granos de almidón contenidos en las células del endospermo o figuran también enzimas que se activan en las primeras etapas, la fosfatasa, fitasa, hemicelulosa y proteasa, las amilasas se activan más tarde. (Kent, 1987)

Las enzimas más importantes de la malta son las amilasas, durante la germinación, la mayor parte de las -amilasas originalmente ligadas, son liberadas o activadas, mientras que las -amilasas son generadas por síntesis. (Othón, 1996). Junto con la actividad enzimática creciente permite su translocación al embrión para formar los nuevos tejidos en crecimiento, hay aumento en la intensidad respiratoria del grano. La pérdida de materia seca por respiración es de cinco a nueve % en el malteado. Durante el malteado se degrada preferentemente la amilopectina; la mezcla de enzimas capaz de degradar el almidón se conoce como diastasa. (Hornsey, 2003). Los procesos bioquímicos que tienen lugar en el endospermo dan lugar a la transformación del grano de cebada en malta: incremento notable de las actividades enzimáticas que origina hidrólisis parcial del almidón, aumento



considerable de azúcares libres (diez veces más en la malta que en la cebada) y solubilización parcial de las proteínas, la germinación puede acelerarse añadiendo ácido giberelico. (Grosch, 1992 y Primo, 1995)

## **B.- MOVILIZACIÓN DE LAS RESERVAS**

Una vez que comienza la germinación, se van a producir una serie de reacciones metabólicas en el interior de las semillas, que darán como resultado la formación de las macromoléculas de reserva en moléculas solubles más sencillas y asequibles al embrión. Estas reacciones serán catalizadas por los correspondientes enzimas hidrolíticos, cuya actividad aumenta considerablemente durante la germinación, bien por activación de los enzimas preexistentes o bien por síntesis de nuevos enzimas. (Barceló, et al 2001)

### **2.2.3 SECADO**

Los objetivos del secado son múltiples, el principal es parar la germinación y el desarrollo botánico de la cariósida para obtener un producto estable. El secado además baja la humedad de la malta lo suficiente para que pueda ser almacenada por periodos prolongados. (Othon, 1996)

Se realiza para detener la germinación y disgregación del grano. Para detener completamente la acción de las enzimas en la malta, es necesario conseguir humedades menores al 5%. Para alcanzar esta desecación se debe trabajar la malta a temperaturas bastante elevadas, pero no demasiado ya que las enzimas se destruyen siendo necesario conservarlas. El proceso se da en tres fases; la primera a temperaturas

entre 50 y 60 °C reduciendo la humedad de la malta de 48 ó 45% a 23% aproximadamente. La segunda etapa a temperaturas de 70 °C para llevar al grano alrededor del 12% de humedad. La etapa final se realiza a temperaturas mayores (hasta 88 °C) consiguiéndose una humedad final de 3.5 a 4%. (Pomeranz, 1975); Los propósitos del secado se resumen como: Fijar en el grano aquellas propiedades deseables adquiridas durante la germinación, poder conservar la malta sin problemas de deterioro, darle al grano la friabilidad necesaria para facilitar la molienda y modificar la composición química y reducir el contenido enzimático.

#### **2.2.4 LIMPIEZA Y ENFRIADO DEL PROCESO DE MALTEO**

Después del secado se enfría la malta hasta 20°C lo más rápido posible para prevenir posteriores destrucciones enzimáticas, formación de color y deterioro del sabor. Además, es necesario remover las raicillas ya que contienen sustancias amargas y otras sustancias que modifican el color de la malta. Deben ser removidas inmediatamente después del secado pues son higroscópicas. (Pomeranz, 1975 citado por Valdez, 1994)

#### **2.3 COCCIÓN POR EXTRUSIÓN**

La palabra extrusión proviene del latín "extrudere" que significa forzar un material a través de un orificio. (Apró, et al 2001). El mismo da una definición práctica: "La extrusión de alimentos es un proceso en el que un material (grano, harina o subproducto) es forzado a fluir, bajo una o más de una variedad de condiciones de mezclado, calentamiento y cizallamiento, a través de una placa/boquilla diseñada para dar forma o expandir los ingredientes".

La extrusión es un proceso de cocción importante en la fabricación de alimentos; es capaz de efectuar un número de operaciones, incluyendo cocción, formación, texturización y deshidratación de materiales alimenticios particularmente aquellos con granos, estas operaciones están contenidas en una pieza de equipo compacto, el cual desperdicia poca energía y necesita únicamente una pequeña cantidad de espacio (Kokini, 1992)

La extrusión es un proceso que combina diversas operaciones unitarias como el mezclado, la cocción, el amasado y el moldeado. El objetivo principal de la extrusión consiste en ampliar la variedad de los alimentos que componen la dieta elaborando a partir de ingredientes básicos, alimentos de distinta forma, textura, color y bouquet; la extrusión con cocción es un tratamiento térmico a elevada temperatura durante corto tiempo (HTST) que reduce la contaminación microbiana e inactiva los enzimas, sin embargo, tanto los alimentos extruidos en caliente como en frío, se conservan principalmente, por su baja actividad de agua. (Fellows, 1994). A su vez la disponibilidad de los aminoácidos puede verse afectada a través de mecanismos de oxidación y reacción de maillard. (Bjorck y Asp, 1983). Asimismo (Ranken, 1993) menciona que la extrusión es un proceso termodinámico de cocido y secado, mediante el cual un producto farináceo húmedo es expandido y adquiere una consistencia plástica, en un tubo por combinación de presión, calor y tracción mecánica, esto da como resultado una elevación de temperatura dentro del tubo, gelatinización de almidones, desnaturalización de las proteínas, además del moldeado, cortado, expansión exotérmica del producto final.

Durante el proceso de extrusión, el alimento se somete a alta temperatura, elevada compresión e intenso esfuerzo cortante (cizallamiento), las cuales producen los siguientes fenómenos:

- Modificación de las características físicas, químicas y fisicoquímicas de las macromoléculas, ocurren fenómenos como la gelatinización y dextrinización del almidón, la desnaturalización y/o texturización de las proteínas y la desnaturalización de parte de las vitaminas presentes. (Kokini, 1992)
- Fusión y plastificación del material alimenticio, aquí las partículas del alimento cambian de granular a amorfo y finalmente llegan a un estado de masa plástica, viscosa y uniforme. (Harper, 1981)
- Tendencia a la orientación de las moléculas en la dirección del flujo de masa, ocurre la formación de enlaces cruzados intermoleculares de gran importancia en la reacción de una estructura expandible y con una estabilidad posterior a la extrusión. (Harper, 1988)
- Expansión del material alimenticio, que ocurre cuando la presión interna del sistema es suficientemente alta y cambia bruscamente hasta alcanzar la presión atmosférica al salir del molde o dado del extrusor. (Linko, 1981).

### **2.3.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA COCCIÓN-EXTRUSIÓN**

La extrusión como el moldeo de un material por forzamiento, a través de muchas aberturas de diseño especial, después de haberlo sometido a un previo calentamiento; asimismo combina el calentamiento con el cocimiento y formación de alimentos húmedos, almidonosos y proteicos, de acuerdo a

las características de funcionamiento normales de 5 tipos de extrusores y sus características funcionales se muestran en el Cuadro 06. (Harper, 1981 citado por Segura, 1999). El alimento es trabajado y calentado por una combinación de fuentes de calor, incluyendo la energía disipada por fricción al girar el tornillo, o inyección de vapor directo a lo largo de la cámara. La temperatura del producto supera la temperatura de ebullición normal, pero no ocurre evaporación debido a la elevada presión que existe. Durante el paso de los ingredientes alimenticios a lo largo del extrusor, son transformados de un estado granular crudo a una masa continua. Esta transformación, descrita como cocción, involucra la ruptura de los gránulos de almidón, la desnaturalización de las moléculas de proteína, y otras reacciones que pueden modificar las propiedades nutricionales, texturales y organolépticas del producto final. En la descarga del extrusor, la pasta cocida a alta temperatura y presurizada es forzada a través de una pequeña abertura llamada boquilla, que permite dar forma al producto. La caída de presión a la salida, ocasiona la expansión y la evaporación de la humedad en el producto (Harper, 1988 citado por Segura, 1999).

Los extrusores consisten de dos componentes básicos: (1) el tornillo o tornillos que giran en una cámara que transporta el material alimenticio mientras que genera presión y esfuerzo de corte y (2) una boquilla u orificio de restricción a través del cual el producto es forzado. Estos componentes interactúan para generar las condiciones del procesamiento. (Harper 1981)

### 2.3.2 VENTAJAS DE LA COCCIÓN-EXTRUSIÓN

Las ventajas de los modernos extrusores que hace que se difundan en la industria de los alimentos según (Harper, 1981 y Fellows, 1994), entre las que tenemos:

- **Versatilidad.**- Puede producirse una amplia variedad de alimentos sobre el mismo sistema extrusor básico, usando numerosos ingredientes y condiciones de proceso.
- **Alta productividad.**- Un extrusor provee un sistema de procesamiento continuo, de capacidad de producción mayor que otras formas de sistema.
- **Bajo costo.**- Los requerimientos de trabajo y espacio por unidades de producción son más pequeñas que otros sistemas de cocinado.
- **Productos de alta calidad.**- El proceso de calentamiento HTST minimiza la degradación de los nutrientes de los alimentos, mientras mejora la digestibilidad por gelatinización del almidón y aminora la desnaturalización de la proteína. El tratamiento de altas temperaturas y corto tiempo destruye factores indeseables en los alimentos. Algunos factores desnaturizables térmicamente son compuestos antinutricionales tales como inhibidores de tripsina, hemaglutinas, gossipol y enzimas indeseables tales como las lipasas o lipooxigenasas y microorganismos.

- **Ahorro de energía.**- Los sistemas de procesamiento operan a humedades relativamente bajas para producir la cocción. Los bajos niveles de humedad deducen la cantidad de calor requerido para la cocción y secado del producto.
- **Producción de nuevos alimentos.**- La extrusión puede modificar proteínas vegetales y otros materiales alimenticios para producir nuevos productos alimenticios.
- **No genera efluentes.**- La cadena de efluentes del proceso es una ventaja importante, debido al severo control de las plantas procesadoras de alimentos para prevenir riesgos de polución ambiental.

### 2.3.3 DESVENTAJAS DE LA COCCIÓN-EXTRUSIÓN

El proceso de la cocción extrusión también presenta ciertas desventajas según (Harper, 1981 y Fellows, 1994), entre las que tenemos:

- Los extrusores procesan solamente harinas o materiales granulares.
- En mezclas que contienen proteínas de leche se observa una mayor destrucción de lisina que otros componentes, por lo que requieren ser cocidos en el menor de los rangos disponibles de temperatura de extrusión, es decir 100 a 135°C, para una óptima utilización biológica de la proteína.

#### **2.3.4 EFECTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS**

Las condiciones HTST de la extrusión en caliente apenas si afectan al color y el bouquet de los alimentos extruidos se debe a los pigmentos sintéticos adicionados a la materia prima en forma de polvo hidrosoluble o liposoluble, en emulsiones o lacas. La decoloración del producto debida a la expansión, a un tratamiento térmico excesivo, o a reacciones que se producen con las proteínas, los azúcares reductores, o los iones metálicos, constituye a veces un problema para la extrusión de algunos alimentos. En la extrusión en frío, entre los ingredientes añadidos a la materia prima se incluyen saborizantes. En la extrusión en caliente este sería un procedimiento inadecuado, ya que se volatilizarían a la salida de la boquilla del extruidor. Los aromatizantes encapsulados sí pueden utilizarse de esta forma, pero resultan caros. Por ello, en los procesos de extrusión en caliente, estas sustancias se distribuyen sobre la superficie del producto extruido en forma de emulsiones o mezclas viscosas. Sin embargo, esta operación hace más viscoso a algunos productos, que requieren, por ello un secado posterior. Una de las características principales de los procesos de extrusión es su capacidad para conferir al producto una determinada textura. (Fellows, 1994)

#### **2.3.5 EFECTO SOBRE EL VALOR NUTRICIONAL DE LOS ALIMENTOS**

Al igual que otros procesos para el tratamiento térmico de alimentos, la cocción-extrusión tiene efectos tanto beneficiosos como perjudiciales sobre el valor nutricional (Bjorck y Asp, 1983).



## **EFFECTO SOBRE LAS PROTEÍNAS.**

Las temperaturas normales de cocción-extrusión (125 a 250°C) y presiones de dos a 20 MPa, el material proteico se convierte en una masa plastificada sin pérdida de humedad, la estructura se reorienta y la masa finalmente es forzada a través de un dado para formar un producto semi seco, con cavidades abiertas y estructura conformada por cuerdecillas entrelazadas. (Linko, 1981)

El tratamiento térmico de proteínas vegetales generalmente mejora su digestibilidad debido a la inactivación de inhibidores de proteasas y otras sustancias antifisiológicas; sin embargo la disponibilidad de los aminoácidos puede verse afectada a través de mecanismos de oxidación y reacción de Maillard. (Bjorck y Asp, 1983).

De acuerdo con las condiciones de la extrusión, las pérdidas en Lisina, Cistina y Metionina son, en los derivados del arroz, del 50 a 90%. Las transformaciones experimentadas por las proteínas de la harina de soya, dependen de su composición y de las condiciones durante la extrusión. Temperaturas elevadas y la presencia en el medio de azúcares, provocan la reacción de Maillard y afectan a la calidad de la proteína del alimento, la destrucción de los componentes antinutritivos de los derivados de la soya mejora su valor nutritivo. (Fellows, 1994)

Uno de los compuestos más valiosos de los granos andinos es el aminoácido lisina. Este es sin embargo termolábil y puede reaccionar con otros compuestos del grano (por ejemplo, en la reacción de Maillard)

disminuyendo su biodisponibilidad. Los procesos que utilizan calor seco, como el tostado y reventado o expandido de los granos pueden disminuir notablemente la disponibilidad de la lisina. Así, la cifra de lisina disponible para el grano de amaranto es de 7,21; para el grano de amaranto reventado en calor seco es de 4,09; lo mismo para el grano de cañihua: 6,35 y para la harina tostada (cañihuaco) 3,25, con una pérdida cercana al 50%. (Repo-Carrasco, 1998)

- **INACTIVACIÓN DE INHIBIDORES DE PROTEASA**

La inactivación de los inhibidores de tripsina se incrementa con la temperatura de extrusión y el contenido de humedad, y a temperatura constante, aumenta con el tiempo de residencia y la humedad (a 153°C, 20% de humedad y un tiempo de residencia de dos minutos, se puede inactivar un 89% del inhibidor de tripsina). Asimismo, mientras se destruye la actividad ureasa y los inhibidores de tripsina, la lisina disponible varía poco. (Bjorck y Asp, 1983)

La inactivación de inhibidores de tripsina puede efectuarse en un extrusor de bajo costo, a baja velocidad de alimentación y muchas restricciones en la boquilla. (Harper, 1988)

- **REACCIÓN DE MAILLARD**

Es una reacción de primer orden para la pérdida de lisina en el proceso de extrusión, debido al corto tiempo de residencia que éste involucra. (Harper, 1981).

La reacción de Maillard se favorece con el aumento de temperatura y reducción del contenido de agua ( $a_w = 0,3$  a  $0,7$ ), siendo las pentosas y la lisina los compuestos más reactivos. La reacción de Maillard causa la disminución de la digestibilidad de las proteínas, a la vez que reduce la disponibilidad de aminoácidos. (Bjorck y Asp, 1983)

En las mezclas de cereales, la pérdida de lisina varía entre 32 a 80% a  $170^{\circ}\text{C}$ , 10 a 14% de humedad y velocidad de tornillo de 60 rpm. La geometría del tornillo no mejora la retención de lisina; sin embargo el incremento de humedad de 10 a 14% reduce significativamente la pérdida de lisina de 40 a 10% en mezcla de cereales/sacarosa. Un incremento de la temperatura de proceso, razón de compresión del tornillo y la velocidad del tornillo incrementan la degradación de lisina, mientras que un incremento de la humedad (por la ley de acción de masas) y el diámetro de la boquilla tienen efecto opuesto. (Bjorck y Asp, 1983)

El aumento de la energía ingresada al extrusor reduce significativamente la disponibilidad de varios aminoácidos, siendo las pérdidas de 30% para la lisina, 21% para la arginina, 15% para la histidina, 13% para el ácido aspártico y 13% para la serina. En otro estudio realizado por (Beaufrand *et al*, citado por Bjorck y Asp 1983), se determinó una considerable pérdida de arginina y menor grado de histidina, durante la cocción-extrusión de una mezcla de cereales. (Bjorck y Asp, 1983)

## EFFECTO SOBRE LOS CARBOHIDRATOS

La cocción-extrusión destruye la estructura organizada y cristalina del almidón, ya sea parcial o totalmente, dependiendo de la proporción relativa amilasa: amilopectina y de las variables de extrusión e imparte a los productos de almidón propiedades funcionales específicas. (Linko, 1981)

La cocción-extrusión de almidón de maíz a bajos niveles de humedad, produce altas temperaturas y esfuerzos de corte y con ello la degradación del almidón y la formación de dextrinas. (Gómez y Aguilera, 1983)

La estequiometría, de un enlace de molécula de agua por cada grupo hidroxilo disponible en el almidón, se requeriría un nivel mínimo de 25% de humedad. Bajos niveles de humedad son suficientes para interactuar con el almidón en la extrusión para formar una pasta. (Harper, 1981)

Durante el paso a través del extrusor, el material sufre la adición de calor y que junto a la hidratación permite que ocurra la modificación de la estructura de los gránulos de almidón, conocida como gelatinización. Este fenómeno conduce a otros cambios en las propiedades del almidón, tales como el aumento del índice de solubilidad en agua, aumento de la absorción de agua, digestibilidad del almidón o susceptibilidad al ataque enzimático. (Gonzáles, 1991 y Harper, 1981).

En un extrusor monotornillo de laboratorio encontraron que las dos variables que influyen en mayor proporción sobre la gelatinización del almidón

fueron la temperatura de la cámara (90-150°C) y la humedad (27-39%), siendo mayor la gelatinización a altas humedades y bajas temperaturas de cámara, velocidades altas del tornillo reducen la gelatinización debido a que disminuye el tiempo de residencia (Lawton *et al.* citado por Harper, 1981)

### **EFFECTO SOBRE LOS LÍPIDOS**

El valor nutricional de los lípidos durante el procesamiento puede ser afectado a través de diferentes mecanismos tales como la oxidación, la isomerización cis-trans o hidrogenación. La cocción-extrusión reduce el contenido de monoglicéridos y ácidos grasos libres por formación de complejos con la amilosa, haciéndolos menos utilizable. (Bjorck y Asp, 1983)

La estabilidad de los lípidos en harina de soya completa disminuye con el incremento de la temperatura de extrusión, contenido de humedad y tiempo de residencia. (Bjorck y Asp, 1983)

La extrusión de una mezcla de maíz y soya a 155° o 171°C a 15% de humedad, produce la conversión de uno a 1,5% de dobles enlaces de la configuración cis a trans. (Harper, 1988)

### **EFFECTO SOBRE LAS VITAMINAS**

Las pérdidas de los alimentos extruidos dependen del tipo de alimento, de su contenido en agua y del tiempo y la temperatura de tratamiento, sin embargo; las condiciones HTST de la extrusión en caliente y el enfriamiento rápido del producto a la salida de la boquilla, hacen que las pérdidas vitamínicas y en aminoácidos esenciales sean relativamente pequeñas. (Fellows, 1994).

### 2.3.6 TIPOS DE EXTRUSORES

Son mucho los tipos de extrusores que se utilizan para formar barras o capas con las masas alimenticias, por lo que Rossen y Miller, citados por Montgomery, (1991); clasificaron los extrusores tanto sobre la base de sus características termodinámicas, como de acuerdo a la forma en que se genera la presión, también Harper (1981), incluye una clasificación de acuerdo al contenido de humedad de los ingredientes y al funcionamiento relacionado con el producto obtenido, y Fellows, (1994) los extrusores pueden ser clasificados de acuerdo a diferentes criterios, así tenemos:

#### 2.3.6.1 SEGÚN SU FUNCIONAMIENTO

**Extruidores en caliente.-** En estos extruidores el alimento se calienta por contacto con las paredes de la camisa que rodea al extruidor y/o por contacto con el tornillo calentado internamente con vapor. En algunos de ellos el cilindro se calienta eléctricamente por inducción, pero parte del calor procede también de la fricción generada por el tornillo y los relieves internos del cilindro. Las fuerzas de compresión se consiguen en el cilindro del extruidor de las siguientes formas:

- Aumentando el diámetro del tornillo y disminuyendo su paso de rosca.
- Utilizando un cilindro tronco-cónico y un tornillo de paso de rosca homogéneo o progresivamente decreciente.
- Obstruyendo las alas del tornillo.

La boquilla del extruidor proporciona una contrapresión adicional. Para la obtención de productos expandidos se emplean presiones elevadas

y boquillas de orificios pequeños. La rápida liberación de la presión que se produce a la salida de la boquilla provoca la expansión instantánea del vapor y el gas que contiene el alimento, dando lugar a un producto de baja densidad en el que el agua que contiene se pierde por evaporación. El grado de expansión del producto se puede controlar variando la presión y la temperatura que se generan durante el proceso, de acuerdo con las propiedades reológicas del alimento.

**Extruidores en frío.**- En este tipo de extrusión el alimento se extruye en tiras sin cocción o la distorsión que produce la expansión del vapor de agua. Con objeto de que la materia prima esté sometida a la mínima fricción posible los tornillos de estos extruidores poseen unas alas muy profundas y ruedan a poca velocidad en un tubo de superficie interna lisa. Se emplean para elaborar pasta, hot dogs, algunas pastas para pastelería y confitería. A veces tanto los extruidores en frío como en caliente disponen de una boquilla especial para inyectar diversos tipos de relleno en el interior de la masa extruida a la salida de la boquilla. A este proceso se le denomina “co-extrusión” y se emplea, por ejemplo, para rellenar algunos pasteles.

### 2.3.6.2 POR SU CONSTRUCCIÓN

**Extruidores de tornillo único.**- De tornillo sinfín único también denominados de tornillo sinfín sencillo o de tornillo simple. Estos extruidores se clasifican, de acuerdo con la intensidad de la fuerza de cizalla que ejercen en:

- *Extruidores de elevada fuerza de cizalla* (cereales para desayuno y snacks).

- *Extruidores de fuerza de cizalla moderada* (pasta para rebozar y de alimentos de humedad intermedia para animales de compañía).
- *Extruidores de baja fuerza de cizalla* (pasta y productos cárnicos).

Los extruidores de tornillo único constan de varias partes: una sección para transformar las partículas en una masa homogénea; una sección de amasado para comprimir, mezclar y desgarrar el alimento plastificado y, en los tornillos de gran fuerza de cizalla, una sección de cocción. El transporte de la materia prima por los extrusores de tornillo único depende en su mayor parte del grado de fricción con la superficie del cilindro. En ellos la materia prima progresa (flujo de arrastre) por la acción del tornillo y sólo una pequeña parte refluye entre el tornillo y la pared del cilindro (flujo de presión y flujo de escape). El flujo de presión está producido por la presión creciente que se crea tras la boquilla y por el movimiento de la materia prima entre el tornillo y el cilindro. Este escape puede reducirse utilizando un cilindro con relieves internos. Los extruidores de tornillo único son más baratos de compra y de funcionamiento y son más fáciles de manejar y reparar que los tornillos gemelos.

Estos operan de forma diferente al de dos tornillos. El canal del tornillo no está dividido, es continuo a lo largo del tamaño del tornillo. En lugar de ser empujado por las aletas del tornillo, el producto es arrastrado por el canal del tornillo por el movimiento relativo del tornillo y la superficie del barril; presión y flujo son generados por el corte. El flujo de arrastre se mueve a lo largo de la dirección del canal, originando una circulación del producto en el canal, importante para la transferencia de calor y mezcla. (Miller, 2001)



La capacidad de producción de las maquinas de extrusión depende del diámetro del tornillo. Aunque la profundidad de rosca y el paso del tomillo tienen su influencia en la capacidad de producción, el tamaño del tomillo y el tipo del material que se somete a este proceso son los factores principales al determinar la capacidad del extrusor. (Harper, 1981)

**Extruidores de tornillos gemelos.-** El funcionamiento de los extruidores de tornillos gemelos menciona que estos ruedan en el interior de un cilindro de sección “en forma de ocho”. Este tipo de extruidores se clasifican, de acuerdo con su sentido de rotación ejemplo rotación opuesta y por la forma en que los tornillos atacan entre sí. Los tornillos extruidores más corrientes en las industrias alimentarias son los de tornillo cortante, en los que el movimiento de rotación impulsa al material a través del extruidor y el ataque de los tornillos entre si mejora el mezclado y evita la rotación del alimento en el cilindro. (Fellows, 1994)

Los extrusores de doble tornillo de rotación opuesta tienen tornillos que se unen fuertemente como engranajes y rotan uno contra el otro. Por lo tanto, cada tornillo está dividido en una serie de cámaras separadas las cuales se mueven hacia el dado mientras que el tornillo rota, llevando el producto en ellas en un "desplazamiento positivo". Aunque el producto no fluye entre las cámaras (excepto a través de fugas), circula en cada cámara una cantidad importante para transferencia de calor. (Miller, 2001)

Fellows, (1994) menciona que los extruidores de tornillos gemelos poseen las siguientes ventajas:

1. Su producción es independiente del flujo de alimentación y puede ajustarse por desplazamiento positivo de los tornillos. Al contrario de los de tornillo único, para un correcto funcionamiento, la materia prima debe ocupar el cilindro por completo. El desplazamiento positivo mejora también la velocidad de transferencia de calor, que se controla más eficazmente que en los de tornillo único.

2. Los extruidores de tornillos gemelos pueden manejar productos aceitosos, pegajosos y con elevado contenido en agua que los de tornillo único refluirían con facilidad. La concentración máxima de algunos componentes que los extruidores de tornillo único y de doble tornillo son capaces de manejar es respectivamente la siguiente: 4 y 20% de grasa, 10 y 40% de azúcar y 30 y 65% de agua. Como puede apreciarse los extruidores de tornillos gemelos son más versátiles.

3. La presión en el barril puede controlarse modificando el flujo hacia delante y hacia atrás. Así, por ejemplo, en la fabricación de regaliz el alimento se calienta y se comprime transportándolo hacia la boquilla. Con el objeto de eliminar el exceso de agua y para adicionar ingredientes, la presión se libera invirtiendo el sentido de rotación. El alimento es finalmente recomprimido para lograr su extrusión.

4. La sección de descarga, que es corta, hace que se cree una presión lo suficientemente elevada para lograr la extrusión, por lo que, en estos extruidores, al contrario de lo que sucede en los de tornillo único, la

zona de la máquina sometida a un mayor desgaste, es menor.

Al contrario de lo que sucede con los de tornillo único, que sólo pueden procesar productos granulados en un rango estrecho de tamaño de partícula, los de tornillos gemelos pueden manejar productos tanto granulados, como pulverizados. Sin embargo, el sistema en el que se basan es el mismo.

### **2.3.6.3 DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS TERMODINÁMICAS**

Según Harper (1981), este criterio de clasificación incluye:

**Extrusores autógenos.-** El trabajo ejercido sobre la masa contenida genera el calor necesario. La temperatura no está ajustada por calor circulante o líquido refrigerante a través de la chaqueta, tomillo o cabezal de la matriz. Algunos extrusores para snacks (bocadillos) e hinchadores o expansores se aproximan a esta condición mientras que otros requieren adición de calor.

**Extrusores isotérmicos.-** La temperatura desarrollada en la masa alimenticia como resultado de la conversión de energía mecánica es mantenida en un nivel más o menos constante por circulación de un refrigerante a través de la chaqueta del barril.

**Extrusores politrópicos.-** Estos dispositivos son intermedios entre los tipos autógenos e isotérmicos. En sentido estricto y práctico, todos los extrusores para alimentos entrarían en esta categoría, aunque la mayoría son capaces de ser clasificados previamente como autógenos o isotérmicos.

### 2.3.6.4 DE ACUERDO A LA HUMEDAD DE LOS INGREDIENTES

En el Cuadro 5, se muestra la clasificación de los extrusores basado en el contenido de humedad de los ingredientes:

CUADRO No. 05

#### CLASIFICACIÓN DE EXTRUSORES SEGÚN LA HUMEDAD DE TRABAJO

HUMEDAD			
Propiedad	Baja	Intermedia	Alta
Humedad de ingrediente (%)	20	20-28	28
Fuente de energía	disipación viscosa	la mitad de disipación viscosa	Vapor
Energía Mecánica (Kw.h/ Kg)	0.10	0.04	<0.02
Secado del producto	6% de humedad	12% de humedad	Secado intensivo
Forma de producto	Mínimo número	Muchas formas	Flexible
Densidad de producto	Baja	Moderada	Amplio rango

**Fuente:** adaptado por Harper, (1981).

### 2.3.6.5 EXTRUSORES DE BAJO COSTO (LECS)

Los extrusores LECS como aquellos que requieren de pocos equipos auxiliares, tales como generadores de vapor; es decir son autógenos, operan a bajas temperaturas (menor del 20%) y no requieren pre-acondicionamiento los productos obtenidos no requieren de un secado posterior, con lo que aseguran ahorro en costos de capital y de operación. (Harper, 1981)

## 2.4 ANTIOXIDANTES

Un antioxidante es la sustancia que se encuentra en pequeñas concentraciones comparada a un sustrato oxidable e inhibe o retarda significativamente la oxidación de dicho sustrato, el término de sustrato oxidable hace referencia de cualquier compuesto encontrado en el alimento y en tejidos vivos (proteínas, lípidos, carbohidratos y DNA). A partir de esta definición se considera que las defensas antioxidantes incluyen:

- a. Los agentes que remueven catalíticamente las especies reactivas.
- b. Las proteínas que minimizan la disponibilidad de prooxidantes como iones de hierro o cobre.
- c. Las proteínas que protegen biomoléculas por otros mecanismos.
- d. Agentes de bajo peso molecular que reducen las especies reactivas.

Los antioxidantes están formados por muchas líneas de defensa, La primera línea consiste en la inhibición de la formación de especies reactivas de oxígeno y de radicales libres a través del secuestro de iones metálicos, por reducción de hidroperóxidos y peróxidos de hidrógeno y por captación de superóxidos y oxígeno singlete. Los antioxidantes que absorben radicales actúan como segunda línea de defensa. (Cadena, 2001; citado por Pérez, 2005)

Las defensas antioxidantes pueden ser categorizadas en defensas primarias, constituidas por una variedad de enzimas y moléculas antioxidantes (Superóxidos dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa) y defensas secundarias, que comprenden una amplia gama de enzimas,

pequeñas moléculas y sustancias vegetales (enzimas proteolíticas, enzimas lipolíticas, enzimas reparadoras del ADN, alfa tocoferol, ácido ascórbico, carotenoides, coenzima Q, ácido úrico, melatonina, flavonoides, ácido alfa-lipoico, polifenoles)

La importancia antioxidante de estas biomoléculas dependen de la especie reactiva sobre la que actúan, donde y como se genera este, así como el daño que produce. Los antioxidantes pueden actuar en los diferentes procesos de la secuencia oxidativa y tener más de un mecanismo de acción. (Helliwell et al, 1995)

En la visión actual, las defensas antioxidantes pueden ser categorizadas en defensas primarias, constituidas por una variedad de enzimas y moléculas antioxidantes (Superóxidos dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa) y defensas secundarias, que comprenden una amplia gama de enzimas, pequeñas moléculas y sustancias vegetales (enzimas proteolíticas, enzimas lipolíticas, enzimas reparadoras del ADN, alfa tocoferol, ácido ascórbico, carotenoides, coenzima Q, ácido úrico, melatonina, flavonoides, ácido alfa-lipoico, polifenoles). (Cadena, 2001 citado por Pérez, 2005)

La estabilidad de muchos alimentos depende de ciertos compuestos fenólicos que actúan como antioxidantes naturales. Son excelentes donadores de hidrogeno o electrones. La eficacia de estos antioxidantes se ve influenciada además por su por su capacidad de retrasar o frenar la reacción en cadena por su solubilidad en la grasa y su volatilidad. (Fennema, 1992)

Los alimentos son importante fuente de antioxidantes, componentes y elementos traza. Además, se han desarrollado una gran cantidad de antioxidantes sintéticos. Sin embargo, suele asumirse que los antioxidantes naturales son más potentes, eficaces y seguros que los sintéticos. Los compuestos fenolicos como la vitamina E y los Flavonoides son antioxidantes naturales. También se han sintetizado numerosos compuestos fenolicos, uno de los mas populares es el 2,6-di-tert-butil-4-metilfenol, conocido como BHT (Fennema, 1992). La estabilidad de muchos alimentos depende de ciertos compuestos fenólicos que actúan como antioxidantes naturales o sintéticos que son excelentes donadores de hidrogeno o electrones. La eficacia de estos antioxidantes se ve influenciada además por su capacidad de retrasar o frenar la reacción en cadena por su solubilidad en la grasa y su volatilidad. (Fennema, 1992)

## **2.4.1 ANTIOXIDANTES NATURALES**

### **2.4.1.1 CAROTENOIDES**

Los Carotenoides son un grupo de compuestos principalmente liposolubles, responsable de muchos de los colores amarillo y rojo de los productos vegetales y animales. En la naturaleza se han identificado más de 420 compuestos Carotenoides y a pesar de que generalmente su color varía de amarillo a anaranjado y rojo, una gran proporción se encuentra en las hojas verdes. De igual manera estos compuestos son la base de numerosas investigaciones debido a su uso como antioxidantes biológicos. (Britton, 1992)

En las plantas, estos pigmentos se localizan principalmente en los cloroplastos de los tejidos verdes, pero su color se encuentra enmascarado por las clorofilas. Las hojas de casi todas las especies presentan mayormente el mismo tipo de carotenoides, como el  $\beta$ -caroteno, luteína, violaxantina, entre otros. (Britton, 1992)

### **ESTRUCTURA QUIMICA**

La estructura básica de la mayoría de estos compuestos es poliénica de 40 átomos de carbono, formado por ocho átomos de isopreno (Rodríguez-Amaya, 1999). Algunos carotenoides son acíclicos pero son más comunes aquellos que presentan un anillo con 6 carbonos (ocasionalmente cinco) en uno o en ambos lados de la molécula (Britton, 1992). Esta estructura básica puede modificarse de varias maneras por ejemplo por: Hidrogenación, ciclación, introducción de funciones oxigenadas o por la combinación de estos procesos, dando como resultado una gran diversidad de carotenoides (Gross, 1987). Las funciones más frecuentes en su estructura son los grupos hidroxilo, epóxidos, metilo, aldehídos, oxo, carboxilo y éster. (Britton, 1992)

Dentro de la célula, se encuentran localizados en áreas hidrofóbicas, excepto cuando están asociadas con proteínas o están sustituidos por grupos polares fuertes, en cuyo caso se puede encontrar en ambientes acuosos. En los tejidos vegetales, en forma libre puede formar cristales, combinados con azúcares reductores o como ésteres de ácidos grasos. (Garrido y Manquea, 1986; citados por Duran y Moreno, 2000)



## CLASIFICACION DE CAROTENOIDES.-

Los Carotenoides se han dividido en dos grandes grupos de acuerdo a su estructura química: carotenos y xantofilas. Los primeros tienen características de hidrocarburos, son solubles en éter y poco en etanol; destaca entre estos los  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$ -caroteno y el licopeno. Por su parte la xantofila son la forma oxidada de las anteriores, se representa como ácidos aldehídos o alcoholes y son solubles en etanol, metanol y éter de petróleo; ejemplo de estos compuestos son la fucoxantina, la luteína y la violaxantina. Ambos grupos deben su color a la conjugación de los dobles enlaces, así como a la presencia del anillo extremo. Entre los 50-60 carotenoides que se consideran precursores de la vitamina A, el  $\beta$ -caroteno es el más abundante, seguido de la  $\alpha$ -criptoxantina y de los  $\gamma$  y  $\delta$ -caroteno. (Mazza, 2000). Dentro de los carotenos tendríamos los siguientes:

- **Los  $\beta$ -carotenos:** Los betacarotenos son precursores de la vitamina A. Se trata de un pigmento vegetal que, una vez ingerido, se transforma en el hígado y en el intestino delgado en vitamina A. Es un componente antioxidante que favorece la no aparición del cáncer, especialmente el de pulmón, boca y estómago. También se ha demostrado que previene la aparición de enfermedades del corazón.
- **El  $\alpha$ -caroteno:** Con propiedades más destacadas como antioxidante que el  $\beta$ -caroteno, aparece en los mismos alimentos que este aunque en una proporción menor.
- **El licopeno:** El licopeno, un componente al cual deben su coloración roja los tomates. Con propiedades similares a los  $\beta$ -carotenos de las

zanahorias, tiene propiedades anticancerígenas. El licopeno parece reducir las probabilidades de cáncer de próstata, pulmón, estómago, vejiga, pulmón, estómago y cuello del útero.

- **La criptoxantina** : Con propiedades más destacadas como antioxidante que el  $\beta$ -caroteno, aparece en los mismos alimentos que este aunque en una proporción menor.

### PROPIEDADES Y ESTABILIDAD.-

El rango distintivo de los carotenoides es un sistema extenso de dobles enlaces conjugados, el cual consiste en alternar enlaces carbono-carbono simple y doble, que por lo general se denomina cadena poliénica. Esta parte de la molécula conocida como el cromóforo, es responsable de la capacidad de los carotenoides de absorber luz en la región visible y en consecuencia su gran capacidad de coloración. (Britton, 1992)

Se requieren al menos siete enlaces dobles conjugados para que un carotenoide produzca color, así se tiene el color del  $\beta$ -caroteno, el cual es amarillo suave, mientras que el fitotolueno con cinco de tal enlace es incoloro. El color se acentúa a medida que se extiende el sistema conjugado, así por ejemplo el licopeno dada su estructura química es rojo; del mismo modo, la ciclación causa algún tipo de impedimento en el color de los carotenoides, por ejemplo el  $\beta$ -caroteno y el  $\gamma$ -caroteno los cuales presentan coloración naranja y roja – naranja respectivamente, aunque poseen el mismo número de enlaces dobles conjugados que el licopeno. (Rodríguez-Amaya, 1999)

Los carotenoides son sustancias hidrofobicas, lipofílicas y son virtualmente insolubles en agua. Se disuelven en solventes grasos como acetona, alcohol, éter etílico, tetrahidrofurano y cloroformo, son fácilmente solubles en éter de petróleo y hexano, mientras que las exantófilas se disuelven mejor en metanol y etanol. (Badui, 1984)

Estos pigmentos en forma libre pueden formar cristales, los cuales presentan varias formas y varían el color desde rojo-naranja hasta violeta y casi llegando a negro, dependiendo de su forma y tamaño. Su punto de fusión es alto, usualmente en el rango entre 130 a 220°C. Los cristales son muy sensibles a la descomposición por oxidación cuando están expuestos al aire. (Britton, 1992)

Debido a su estructura química, estos compuestos son muy inestables, siendo sensibles a la oxidación, luz y calor (Rodriguez y Amaya, 1999). Al respecto, Britton, 1992 señala que al oxidación de los carotenoides debe ser evitada debido a que se ha demostrado que la sola presencia de trazas de oxígeno en muestra almacenadas (a una baja temperatura de congelación) y de peróxidos en solventes (especialmente dietil éter) o de cualquier agente oxidante puede degradar estos compuestos pudiendo llegar a blanquearse o formar productos como epóxido o apocaroteno (carotenoides con un acortamiento del esqueleto carbonado).

La luz, el calor, los metales, las enzimas y la presencia de peróxidos estimulan la oxidación de los carotenoides, la cual es inhibida por antioxidantes como los tocoferoles y el ácido ascórbico (Rodriguez y Amaya,

1997). Así estudios realizados por Anguelova y Warthesen (2000) al evaluar al estabilidad del licopeno,  $\beta$ -caroteno y  $\alpha$ -caroteno durante al peroxidación lipídica del metil-linoleato a 37° y 60° C, encontraron que la reacción de degradación de estos carotenoides a la temperatura de trabajo siguió un modelo cinético de primer orden. A 60° C los carotenoides se degradaron seis a ocho veces más rápido que a 37°, siendo el licopeno el que experimento la mayor degradación (mayor a los 95%, transcurridas 36 horas de tratamiento).

La mayoría de carotenoides, son estables bajo condiciones alcalinas, sin embargo, son susceptibles a la descomposición, deshidratación o isomerización en medios ácidos, por lo que durante su extracción se recomienda utilizar un agente neutralizante como el bicarbonato de sodio. (Britton, 1992)

#### **Importancia y actividad biológica.-**

La Vitamina A juega un papel fundamental en muchos procesos biológicos esenciales. Se conoce desde hace décadas su función como cromóforo de doble cadena conjugada, el cual brinda la propiedad de absorber la luz (color) y hace que sus moléculas sean extremadamente susceptibles a la degradación oxidativa. (Britton, 1992)

En flores, frutas y algunos animales, la función de los carotenoides es simplemente para dar color. En plantas con tejidos verdes, estos compuestos juegan un rol importante en la fotosíntesis (Britton, 1992). Se le han atribuido dos funciones importantes:

1. Un rol como pigmento accesorio en al fotosíntesis.
2. Como agente protector de los organelos fotosintéticos contra el daño potencial de la luz visible (Gross, 1987)

El daño causado por la radiación visible puede ser alterado por la presencia de carotenoides endógenos. Este mecanismo de fotoprotección de los carotenoides esta referido a la longitud de su cromóforo y un mínimo de nueve enlaces dobles conjugados. (Mathews – Roth y otros, 1974; citado por Gross, 1987)

La importancia de los carotenoides en los alimentos va mas allá de su rol como pigmento natural. En forma creciente se han atribuido a estos compuestos funciones y acciones biológicas. Por mucho tiempo se ha sabido de la actividad de pro vitamina A de los carotenoides, siendo el  $\beta$ -caroteno la pro vitamina A mas importante, tanto en términos bioactivos como de amplia ocurrencia, asignándole un 100% de actividad (Rodríguez y Amaya, 1999). La conversión del  $\beta$ -caroteno a vitamina A ocurre principalmente en al mucosa intestinal (Downhan y Collins, 2000). El requerimiento mínimo para la actividad de al vitamina A, en términos estructurales, lo constituyen anillo  $\beta$  no sustituido con un cadena polienica de 11 carbonos (Rodríguez- Amaya, 1999), sin embargo el  $\alpha$ -caroteno,  $\gamma$ -caroteno,  $\epsilon$ -criptoxantina y el  $\zeta$ -criptoxantina, los cuales tienen un anillo  $\beta$  no sustituido, tiene una actividad de pro vitamina A y poseen aproximadamente la mitad de la bioactividad del  $\beta$ -caroteno. (Gross, 1987)

Los carotenoides también se han relacionado con un aumento de la capacidad del sistema inmune y una disminución del riesgo de enfermedades degenerativas. Estos efectos son independientes de la actividad pro vitamina A y se relaciona con la propiedad antioxidante de los carotenoides. La efectividad de estos compuestos como antioxidantes se relaciona con su capacidad para capturar oxígeno *singlet* y a través de la desactivación de los radicales libres, como el radical peróxido, el cual está involucrado en numerosas enfermedades crónicas. (Larondelle, 2001)

#### 2.4.1.2 COMPUESTOS FENOLICOS

Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen un amplio grupo de sustancias químicas, considerados metabolitos secundarios en las plantas (Martínez-Valverde, 2000; citado por Pérez, 2005). La estructura química más frecuente en la que se la encontró es la de polímeros o lignina insoluble. Se caracterizan por la presencia de un anillo bencénico que lleva uno o más sustituyentes hidroxilos, y que ocurren frecuentemente como glicósidos, combinados con unidades de azúcar. Son relativamente polares y tienden a hacer solubles en agua. Además la naturaleza bencénica que tiene, presenta intensa absorción en la región UV (Lock, 1994; citado por Pérez 2005).

Los tres grupos más importantes son los Flavonoides, los ácidos fenólicos y los polifenoles. Los más estudiados son los Flavonoides (King y Young, 1999). Muchos de los compuestos fenólicos (ésteres, cafeicos, catequinas) son buenos sustratos de pardeamiento y a su vez, buenos antioxidantes. Son antioxidantes a concentraciones bajas mientras que a

concentraciones altas al ser susceptibles a la oxidación se convierte en pro oxidante dada su intervención en las reacciones de iniciación (Robards et al., 1999; citado por Pérez 2005).

Es muy frecuente encontrarlos en los vegetales superiores, especialmente en plantas alimenticias donde su presencia contribuye a las cualidades sensoriales como color, el aroma y la astringencia. La composición fenólica de las frutas es determinada por factores genéticos y ambientales pero pueden ser modificados por reacciones oxidativas durante su procesamiento y almacenaje. Dos de los procesos mas importantes involucran la capacidad antioxidante de los fenoles y el pardeamiento enzimático ( Robards et al., 1999; citado por Perez). Los compuestos fenólicos naturales demostraron ser eficaces en la rancidez de prevención de muchos sistemas de lípidos. La actividad de estos compuestos es a menudo difícil de predecir, debido a los diversos mecanismos implicados en la eficacia antioxidante (Frankel, 1998).

#### **2.4.2 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS COMPUESTOS FENOLICOS**

Los antioxidantes son compuestos que impiden o retrasan la oxidación de otras moléculas a través de la inhibición de la propagación de la reacción de oxidación. Los compuestos fenólicos poseen una estructura química ideal para actuar como antioxidante, mostrando una mayor eficiencia in vitro en comparación a la vitamina E y C (Rice-Evans *et al.*, 1996; citado por Ríos (2004). Al respecto, Fennema (1993) señala que debido a sus propiedades redox, los polifenoles pueden actuar como agentes reductores, donadores de hidrogeno y captar el oxigeno singulete,

formando radicales intermedios relativamente estables debido a la deslocalización de electrones por resonancia y a la falta de posiciones para ser atacados por el oxígeno molecular.

Rice – Evans *et al.* (1996) citado por Ríos (2004), sostiene que el arreglo estructural de los compuestos fenólicos le confieren una gran actividad antioxidante, debido principalmente a:

- Presencia de estructura o-dihidroxi en el anillo B; esto le confiere una mayor estabilidad a la forma radical y participa en la deslocalización de los electrones.
- La doble ligadura en la posición 2,3 en conjugación con la función 4-oxo del anillo C es responsable de la deslocalización del electrón desde el anillo B; el potencial antioxidante está relacionado a la estructura en términos de la deslocalización del electrón en el núcleo aromático.
- Grupos 3- y 5-OH con función 4-oxo en los anillo A y C son necesarios para ejercer el máximo potencial antioxidante.

Por otro lado, la propiedad de quelar metales, particularmente hierro (Fe) y cobre (Cu) demuestra el rol de los fenólicos como antioxidantes preventivos en función a que inhiben las reacciones químicas que catalizan estos metales, evitando de esta manera la formación de radicales libres. (Cadenas, 2001; citado por Ríos, 2004)



La capacidad antioxidante de un alimento depende de la naturaleza y concentración de los antioxidantes presentes en el. Existen investigaciones que verifican la actividad antioxidante e identifican los compuestos activos (Guerra, 2002). Constatando también que la actividad antioxidante es influenciada por diversos factores como: la región donde es cultivada, el solvente o técnica de extracción empleados, sustratos lipídicos utilizados en el ensayo. (Frankel, 1998)

La actividad antioxidante corresponde a la razón constante de un solo antioxidante en contra de un radical libre dado. La capacidad antioxidante es la medida de las moles de un radical libre dado, reducido por la solución prueba independientemente de la actividad antioxidante de cualquier antioxidante presente en la mezcla. (Ghiselli y otros, 2000)

Los métodos más usados en la medición de esta actividad son aquellos que involucran la generación de radicales libres (método de ABTS). Siendo los antioxidantes presentes en la muestra los que determinan la neutralización de estos radicales libres (Arnao, 2001). Estas metodologías se aplican principalmente para la estimación de capacidad antioxidante en medios acuosos, pero en menor grado para antioxidantes liposolubles.

#### **2.4.4 EFECTO ANTIOXIDANTE EN LA OXIDACIÓN LIPÍDICA**

Los antioxidantes sintéticos, tales como anisole hydroxy butylated (BHA), butylated el tolueno hydroxy (BHT) y la hidroquinona tert-butilica (TBHQ), se utiliza extensamente en el sector alimenticio porque son eficaces

y menos costosos que los antioxidantes naturales (Suja, 2003). Sin embargo se ha preguntado por su seguridad (Labuza, 1971). Por lo tanto, el uso de antioxidantes naturales está llegando a ser importante ahora. Las plantas producen una variedad de antioxidantes contra daño molecular de especie reactiva y ciertos productos naturales podrían desempeñar así un papel preventivo debido a sus características antioxidantes.

Los antioxidantes son clasificados por Gordon (1990) en cinco tipos:

- 1. Antioxidantes Primarios:** Aquellos compuestos, principalmente sustancias fenolicas, que terminan los radicales libres en cadenas de oxidación lipídica. Tocoferoles sintéticos y naturales, BHA, BHT, TBHQ, que funcionan como donadores de electrones.
- 2. Reductores de Oxígeno:** Como el ácido ascórbico (vit. C), palmitato ascórbico, ácido eritorbico, sal de sodio, etc. Que reacciona con el oxígeno y así pueden removerlos en un sistema cerrado. La regeneración de los fenolicos antioxidantes, un mecanismo enteramente diferente, por el ácido ascórbico ha sido también propuesto para explicar la acción sinérgica que existe en la mezcla de antioxidante.
- 3. Antioxidantes Secundarios:** Como el tio propionato diláurico y el ácido tiodipropionato, cuya función es convertir los lípidos hidroperoxidos en productos estables finales. Estos compuestos aprobados por la FDA, no esta aun aceptados para su uso en alimentos.

**4. Antioxidantes enzimáticos:** Glucosa oxidasa, dismutasa superoxidasa, catalasa, tioglutato peroxidasa, etc. Estos funcionan por remoción disolución de oxígeno.

**5. Agentes quelantes o secuestrantes:** Ácido cítrico, aminoácidos, etc. Los cuales quelan los iones metálicos tales como el cobre y el plomo que promueven la oxidación lipídica hacia la acción catalítica. Los quemadores son referidos algunas veces como sinergistas desde que realzan la acción antioxidante de los fenólicos. Esto puede presentar un pequeño o ningún efecto antioxidante si son usados solos, exentos los aminoácidos que pueden ser anti o pro oxidante. Los fosfolípidos actúan como antioxidantes sinérgicos en algunos sistemas.

## i. ESTUDIOS REALIZADOS EN CEREALES ANDINOS

La Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) tiene como origen la región de los Andes del sur de Perú y de Bolivia, distribuyéndose en las regiones semiáridas más altas; soporta bien los climas rigurosos con heladas, sequías y bajas temperaturas. Es probablemente el cultivo de grano que resiste mejor las bajas temperaturas ( $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), sin afectarse su producción. Tanto la quinua como la Cañihua, son relativamente ricos de lípidos. El aceite de estos cereales tiene alto contenido en ácidos grasos insaturados así como también de tocoferoles.

La quinua (*Chenopodium quinoa*) ecotipo marrón es la que presenta mayor contenido de compuestos lipofílicos (*Chenopodium pallidicaule*, variedad cupi), junto con la kiwicha (*Amaranthus caudatus*, ecotipos negra).

El mayor contenido de compuestos fenólicos en las quince muestras de quinua fue el de la variedad PIQ031046 (139,94 mg ácido gálico/100 g); en las once muestras de Cañihua fue el de la variedad Leghepito (85,71 mg ácido gálico/100 g) y en las cinco muestras de kiwicha fue el de la variedad A00254 (30,41 mg ácido gálico/100 g). (Repo-carrasco, 2008).

La mayor capacidad antioxidante en la fase hidrofílica medida por el radical DPPH en las quince muestras de quinua fue el de la variedad PIQ031046 (2400,55  $\mu\text{g}$  trolox/g); en las once muestras de kañiwa fue el de la variedad Puka kañiwa (1509,80  $\mu\text{g}$  trolox/g) y en las cinco muestras de kiwicha fue el de la variedad A0011 (660,37  $\mu\text{g}$  trolox/g).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el ámbito de la ciudad de Puno a una altitud de 3827 m.s.n.m. en su parte operativa, (el proceso de cocción extrusión se efectuó en la Planta Agroindustrial “El Altiplano S.R.Ltda.” ubicado en el parque industrial de la ciudad de Juliaca, los análisis de laboratorio se realizaron en los Laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano Puno y Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria la Molina Lima.

#### 3.1 MATERIALES

##### 3.1.1 MATERIA PRIMA

Se utilizó como materia prima la Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) de la Variedad Cupi, adquirida del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA)-Puno, Centro Experimental Salcedo, en una cantidad de 50 kg.

##### 3.1.2 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE LABORATORIO

- Balanza electrónica con precisión en gramos y miligramos
- Extractor de proteína Kjeldahl Ezermeister Kecskemeti ISZ.
- Destilador Kjeldahl de 1400 a 168w.
- Estufa de vacío Modelo 14000E, controlada termostáticamente y conectada vía un desecador de aire a una bomba de vacío Modelo 16030007402 capaz de mantener la presión de la estufa por debajo de 20 psi.

- Mufla Furnace Thermolyne Modelo N° F48010-26 máx. 1225°C.
- Balanza Analítica Metler Toledo AB204.
- Agitador mecánico de aletas VEB ELMO tipo 1135.14 n° 14/19748<sup>a</sup>.
- Termostato MTA KUTESZ Typo Lp 201/1
- Otros

### 3.1.3 MATERIALES DE LABORATORIO

- Vaso de precipitado de 250 ml.
- Vaso de precipitado de 500 ml.
- Matraces erlenmeyer de 500 ml.
- Matraces erlenmeyer de 250 ml.
- Matraces Kjeldahl de 100 ml.
- Termómetros DBGM de -15 a 420°C.
- Fiolas.
- Pipetas.
- Crisoles de porcelana.
- Papel de filtro.
- Papel de nitrógeno.
- Bureta.
- Otros materiales auxiliares.

### 3.1.4 INSTRUMENTOS, EQUIPOS DE PROCESO

- Germinadores.
- Estufas.
- Extrusor de un solo tornillo INNOVA.

- Molino Cyclotec.
- recipientes

### 3.1.5 REACTIVOS

- Ácido sulfúrico concentrado.
- Sulfato de cobre (catalizador).
- Sulfato de potasio (catalizador).
- Selenato de sodio
- Hidróxido de sodio al 50%.
- Acido Bórico al 4%.
- Azul de metileno.
- Rojo de metileno.
- Ácido clorhídrico 0,05 N.
- Hexano.
- Solución Acética: 80 ml de ácido acético, 20 ml de ácido nítrico y 20 ml de agua destilada.
- Potasio de grado analítico de harleco 7574; etanol absoluto y hexano de J.T. Baker metanol de Mallinckrodt; acetona, Folin-ciocalteu; carbonato de sodio anhidro; ácido glacial 100% de Merck.

### 3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para la obtención de harina de cañihua germinada y extruida, se procedió de acuerdo a lo descrito en la Figura 2, donde se muestra el

diagrama de flujo para la obtención de harina de cañihua germinada y extruida, cuyo procedimiento se detalla a continuación.

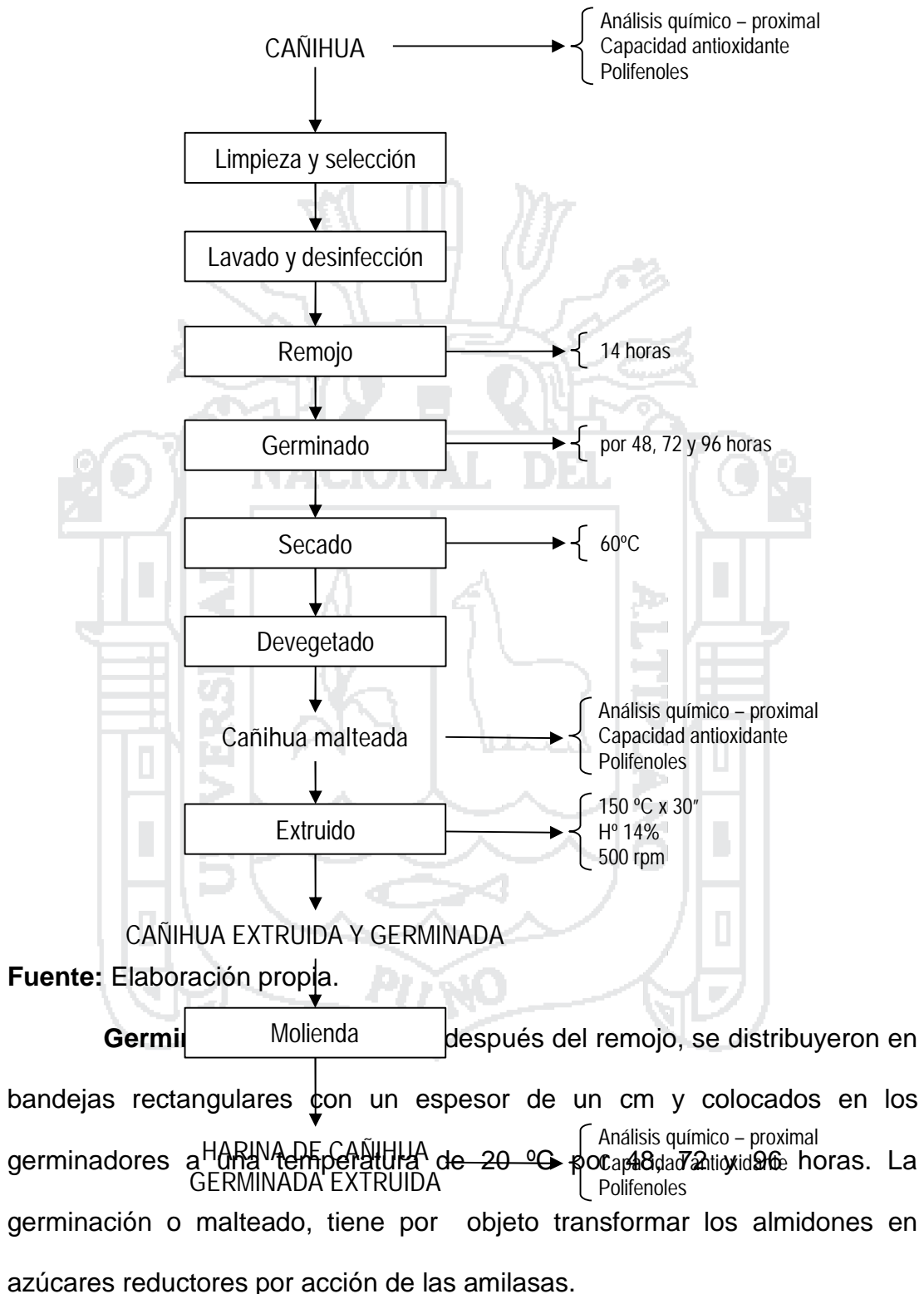
**Limpieza y Selección.-** Los granos de cañihua se sometieron a limpieza y selección, para eliminar partículas extrañas, con la finalidad de obtener y trabajar en condiciones de pureza y calidad, tal como lo estipula las normas de sanidad vigentes.

**Lavado y Desinfección.-** Seleccionados los granos se sometieron a un lavado con una solución de hipoclorito de sodio de 3 ml/litro de agua, para eliminar microorganismos y hacer eficiente el proceso de germinado, evitando el posible desarrollo de hongos en los granos húmedos sometidos a germinado.

**Remojo.-** Etapa que tiene por finalidad que los granos de cañihua alcancen la humedad necesaria para iniciar el proceso de la germinación (alcanzar una humedad aproximada de 45%), en un recipiente de plástico los granos se sumergieron en agua potable a temperatura de 20 °C por 14 horas (estudiado por Berna, 1995), cuidando que el agua sobrepase la superficie de los granos en 10 centímetros.



**Figura 2: Diagrama de Flujo para la Obtención de harina de cañihua germinada y extruida.**



**Secado.-** Al finalizar la etapa de la germinación, los granos germinados de cañihua se secaron en un secador de bandejas por un

tiempo de 12 horas a 60 °C, con la finalidad de inhibir su evolución biológica.

**Devegetado.-** Luego del secado a los granos secos se les eliminó las raicillas y cascarillas en forma manual, con la finalidad de evitar la absorción de agua ya que estas son muy higroscópicas y eliminar a través de ellas las sustancias amargas y otras que modifican el color del germinado.

**Extruido.-** Para este proceso los granos de cañihua germinada se acondicionaron a una humedad de 14%, y se procedió a la cocción-extrusión de los mismos en un extrusor de un solo tornillo, a una temperatura de 150 °C y una velocidad de rotación del tornillo sinfín de 500 rpm.

**Molienda.-** Los granos de cañihua germinados y extruidos, fueron sometidos a un proceso de molienda en un molino de granos con la finalidad de obtener harina de cañihua germinada extruida, las que se tamizaron en el mismo equipo separando los diferentes subproductos.

### 3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se condujo bajo un diseño completo al azar, las variables que se consideraron fueron:

#### 3.3.1 Variables de entrada o independientes:

- Tiempo de germinado (horas)

#### 3.3.2 Variables de salida o dependientes:

- Compuestos fenólicos

- Capacidad antioxidante

			←	Compuestos fenolicos
Tiempo:	→	germinado-extruido		
48, 72 y 96 horas			←	Capacidad Antioxidante

### 3.4 DISEÑO ESTADISTICO

El presente trabajo de investigación fue conducido bajo un Diseño completo al azar, teniendo en la primera fase un total de 04 tratamientos y en la segunda fase 04 tratamientos, teniendo en total en las dos fases 08 tratamientos en estudio, con tres de repeticiones por variable de estudio, cuyo modelo matemático se muestra a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + ij$$

Donde:

**PRIMERA FASE: germinado**

$Y_{ijk}$  : Es la variable de respuesta

$\mu$  : Media general o parámetro común a todos los tratamientos.

$T_i$  : Es el efecto del factor tiempo de germinado

$ij$  : Error aleatorio

**SEGUNDA FASE: extruido**

$Y_{ijk}$  : Es la variable de respuesta

$\mu$  : Media general o parámetro común a todos los tratamientos.

$T_i$  : Es el efecto del factor tiempo de germinado en el extruido.

$ij$  : Error aleatorio

**3.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS**

- Determinación de la Capacidad antioxidante.- Se siguió el Método de ABTS recomendado por Re y otros, 1999.- se efectuó en el laboratorio de Biotecnología de Universidad Agraria la Molina.
- Determinación de compuestos fenolicos.- para lo cual se siguió el método recomendado por Swain y Hillis, 1959. se efectuó en el laboratorio de Biotecnología de Universidad Agraria la Molina.
- Análisis Físico químico.- se siguió la metodología recomendada por la A.O.A.C. (1990), estos análisis se efectuaron a fin de complementar el trabajo de investigación.

**ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL**

La determinación del contenido de humedad, materia grasa, carbohidratos, fibra, ceniza y proteína se realizó de acuerdo a los métodos citados por la AOAC (1990).

## A) HUMEDAD

El contenido en agua de un producto se define convencionalmente como la pérdida de masa que experimenta en condiciones determinadas.

### FUNDAMENTO:

Este método se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra por calentamiento a 65 - 100°C.

### TÉCNICA:

Se pesa 5 g de la muestra y se seca en una estufa a presión atmosférica a una temperatura de 65°C bajo presión atmosférica normal, durante 6 horas, transcurrido este tiempo, y operando rápidamente, se retira la muestra de la estufa una vez tapado colocarlo en el desecador. Pesar en cuanto se enfríe en el desecador el contenido de agua de la muestra, cuya fórmula es la siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(M_1 - M_2) * 100}{M_1}$$

Donde:

M<sub>1</sub> = masa inicial en gramos de la muestra.

M<sub>2</sub> = masa en gramos del producto seco.

## B) CENIZAS

El contenido en cenizas de un producto es el residuo resultante después de su incineración en condiciones determinadas las cuales constituyen en el grano las materias minerales e inorgánicas.

**FUNDAMENTO:**

Se basa en la incineración de las sustancias orgánicas presentes en la muestra por la acción de alta temperatura.

**TÉCNICA:**

Se pesa 5 g de muestra, antes de usar las cápsulas de incineración, calentarlas en el horno a una temperatura de 600 °C durante 6 horas, enfriarlas en el desecador y pesarlas cuando alcancen la temperatura ambiente. Introducir la muestra pesada en la cápsula repartiéndola en una capa de espesor uniforme, sin comprimirla; colocar la cápsula al horno, la incineración continua hasta lograr la combustión total de la muestra, la temperatura de incineración es de 600 °C. El porcentaje de cenizas se obtiene por la formula siguiente:

$$\% \text{Ceniza} = \frac{(P_3 - P_2) * 100}{(P_1 - P_2)}$$

Donde:

$P_1$  = Peso de la muestra + peso de crisol

$P_2$  - Peso del crisol

$P_3$  = Peso de ceniza + peso de crisol

**C) PROTEÍNA**

Todos los alimentos naturales contienen proteínas, la proteína cruda de los alimentos se calcula en base al nitrógeno total.

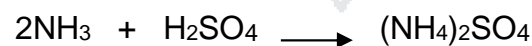
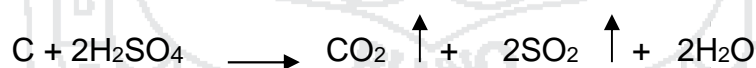
**FUNDAMENTO:**

Este método se basa en la transformación de los compuestos nitrogenados presentes en la muestra, en amonio, por digestión con ácido sulfúrico concentrado en presencia de oxidantes. La determinación consta de tres etapas: digestión, destilación y valoración.

➤ **Digestión**

Es la primera etapa que consiste en la descomposición de la materia orgánica por el ácido sulfúrico caliente transformando el nitrógeno de la sustancia orgánica en sulfato de amonio, empleando catalizadores tales como sulfato de cobre y sulfato potásico los cuales actúan como transportadores de oxígeno. En la reacción del carbono y el hidrógeno son oxidados a dióxido de carbono y agua, además una parte del ácido se reduce a dióxido de azufre, que es el agente reductor de los compuestos.

Las reacciones son como siguen:



➤ **Destilación**

Esta segunda etapa, consiste en la separación del amoníaco de la sustancia digerida, alcalinizando con NaOH, recibiendo el destilado en ácido bórico al 4%. El amoníaco al condensarse pasa en forma de hidróxido de amonio, el cual se reconoce por su reactivo correspondiente y característico (reactivo de Nessler).



➤ **Valoración o Titulación**

Es la tercera etapa, el amoníaco destilado es absorbido poco a poco por un volumen conocido de solución valorada de HCl 0,1 N, en exceso. El ácido clorhídrico reacciona con el borato de amonio y en el punto final ya no hay borato y un pequeño exceso de HCl provocara un cambio de pH y el consiguiente viraje de la solución.



**TÉCNICA:**

➤ **Digestión**

- a) Se pesó 0,25 g de muestra sólida.
- b) Se introduce la muestra en el balón kjeldahl de 100 ml.
- c) Se agregó 5 ml de ácido sulfúrico concentrado al matraz.
- d) Se agregó aproximadamente 1g de catalizador de sulfato de cobre, sulfato de potasio y selenato de sodio.
- e) Se coloca los matraces en el equipo digestor Kjeldahl y activar el extractor de gases.
- f) Esperar la digestión aproximadamente 30 minutos.
- g) Desactivar y enfriarlo por un tiempo 30 min.
- h) La digestión termina, cuando se observa un líquido residual de color verde transparente.



➤ **Destilación**

- i) Se retira el balón del calentador, y dejarlo enfriar.
- j) La muestra digerida se traslada a un balón de 250ml con 25 ml de agua destilada.
- k) Se agrega 15 ml hidróxido de sodio al 50%.
- l) Preparar en un erlenmeyer de 250 ml; verter 5ml de ácido bórico al 4% al que se le agrega el indicador de pH de 3 a 5 gotas, al mezclarse con el ácido bórico y el indicador da una coloración roja.
- m) Se conecta el equipo de destilación, para destilar el balón del digestor, durante 10 a 15 minutos, hasta que el matraz receptor tome una coloración verdusca y un contenido de líquido de 25 ml aproximadamente.
- n) Y activar el sistema refrigerante de agua en el equipo.

➤ **Titulación y valoración**

- o) Titular con HCl al 0,05 N valorado.
- p) Leer y anotar el gasto (haciendo uso del agitador magnético)
- q) La titulación termina, cuando vira de rojo a verde.
- r) Lavar siempre el agitador o dispersor con agua destilada en cada ensayo.
- s) Calcular el porcentaje de nitrógeno con la siguiente expresión:

$$\% \text{ Pr oteína} = \frac{V * N * meqN * 100}{pesomuestra} * 6,25$$

Donde:

V = volumen de gasto del ácido clorhídrico.

N = normalidad del ácido

Meq = mili equivalente 14/1 000

100 = Porcentaje al 100%

6,25 = factor; relación Nitrógeno - proteína 100/16

#### **D) GRASA**

Las grasas se forman en las plantas a expensas de los carbohidratos. En los cereales el contenido de grasa es muy variable, así en el trigo es de 4%, en el maíz de 9%, en la quinua el contenido medio de grasa es 5%. El solvente utilizado para la determinación de grasa es el éter.

#### **FUNDAMENTO:**

Sometiendo la muestra a la acción de un disolvente de materia grasa, usando un extractor y evaporando el disolvente una vez agotada la materia grasa, el aumento de peso del recipiente, que ha recogido durante la operación los productos de extracción, nos dará la materia grasa.

#### **TÉCNICA:**

Pesar 3 g de muestra molida y desecada a 100°C y envolverla en papel filtro seguidamente colocar en el equipo soxhelt, la grasa se extrae con hexano, continua la extracción hasta que el hexano se vuelva incoloro y se pesa el residuo de grasa cuando alcanza la temperatura ambiente.

El porcentaje de grasa bruta sobre sustancia seca viene dado por la fórmula:

$$\% \text{ grasabruta} = \frac{(P_1 - P_2) * 100}{P}$$

Donde:

$P_1$  = peso, en g del matraz con el extracto etéreo.

$P_2$  = peso, en g del matraz vacío.

$P$  = peso, en g de la muestra empleada.

## E. FIBRA

La celulosa esta constituida en su mayor parte por corteza de la semilla de cañihua.

### FUNDAMENTO:

El método empleado permite eliminar lo que no es celulosa y se utiliza la muestra desgrasada, que viene a ser el residuo del análisis de grasas.

### TÉCNICA:

Se pesa 2g de muestra desgrasada, se hecha a un matraz y se agrega 50ml de una solución acética (preparada con 80ml de ácido acético, 20ml de ácido nítrico y 20ml de agua destilada), se hierve por media hora, luego se filtra y se lava con agua destilada, más o menos 3 veces hasta que el agua lavada tenga un pH neutro, el papel filtro debe estar tarado. El filtro con la muestra se pone en la estufa a 110°C hasta peso constante.

El residuo que queda es la fibra cruda y por supuesto las cenizas que han resistido ambas digestiones, por esta razón debe de descontarse el peso de las cenizas. Al peso del filtro más la muestra, se le resta el peso del

filtro, esta diferencia referida a 100, nos dará el porcentaje de fibra o celulosa.

El porcentaje de fibra viene dado por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ fibra} = \frac{(P_1 - P_2) * 100}{P}$$

Donde:

$P_1$  = peso, en g, de ceniza.

$P_2$  = peso, en g, de fibra.

$P$  = peso, en g, de la muestra empleada.

## F) CARBOHIDRATOS

Los constituyentes mas importantes de los carbohidratos son los almidones, que son sustancias ternarias constituidas por carbono 44%, Hidrógeno 7% y Oxígeno 49%. En todos los cereales hay presencia de almidones, además se les encuentra en las hojas, tallos, raíces, etc. Los carbohidratos se determinan por diferencia.

## CAPITULO IV

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE CAÑIHUA GERMINADA

En el Cuadro 06, se presenta los resultados del análisis químico proximal del grano de cañihua variedad cupi antes de ser germinada y después de haberlo germinado. En donde se puede observar que los valores del grano de cañihua respecto a los reportados por el MINSA/INS/CENAN (1993), Collazos (1996) y Huanatico (2008), que se muestran en el Cuadro 1, que las diferencias son mínimas, estas diferencias se deben primeramente a la variedad de cañihua analizadas, ya que refieren los análisis efectuados a cañihua gris, parda y ramis y en segundo lugar al tiempo de cosecha.

## CUADRO 06

COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DEL GRANO DE CAÑIHUA Y DE  
CAÑIHUA GERMINADA

COMPONENTES	GRANO	CG1	CG2	CG3
Humedad	11,00	7,50	5,00	4,00
Lípidos	6,50	10,00	10,00	9,00
Proteína	16,80	17,30	17,50	17,70
Ceniza	5,10	2,64	2,60	2,89
Fibra	5,40	5,20	5,10	3,80
carbohidratos	55,20	57,36	59,80	62,61

**Fuente:** Elaboración propia.

Leyenda:

CG1:	Cañihua germinada durante 48 horas
CG2:	Cañihua germinada durante 72 horas
CG3:	Cañihua germinada durante 96 horas

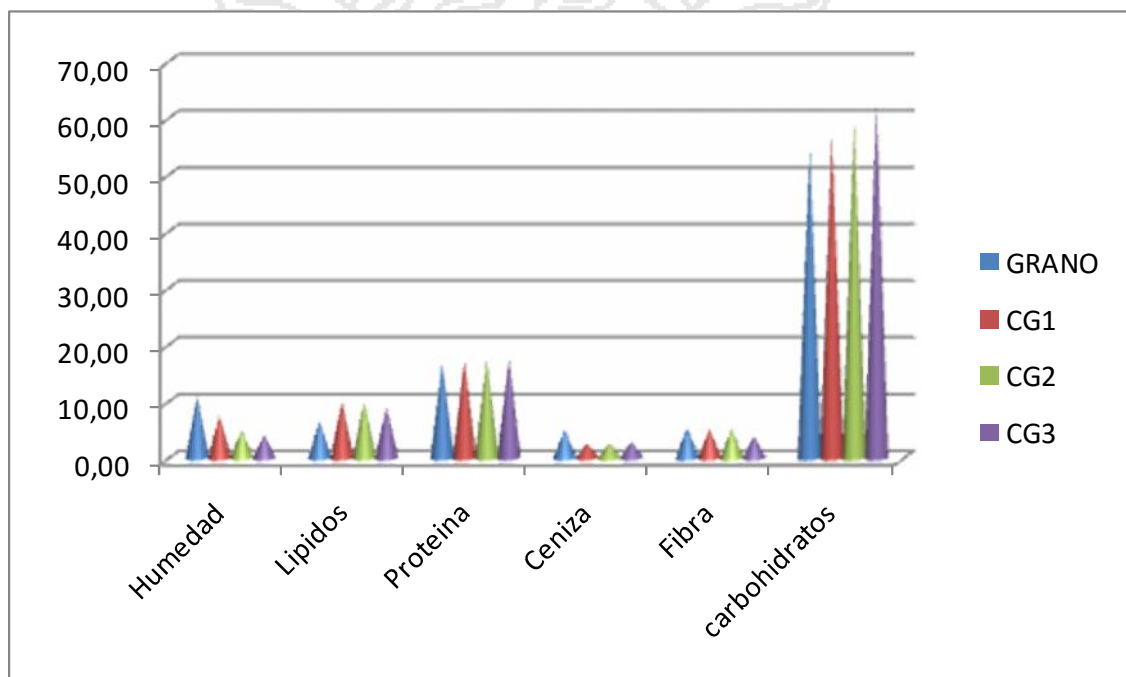
Respecto a la composición química reportado por Sucari y Sota (2003) de la cañihua variedad cupi en cuanto a humedad 7,94%, grasa 7,29%, proteínas 16,32%, cenizas 2,55%, fibra 8,25% y carbohidratos 57,65%, de las muestras analizadas difieren muy poco ya que estos son inferiores.

En cuanto al grano de cañihua germinado, donde podemos observar que, con respecto al grano de cañihua existe un incremento en el rango de 0,5 a 0,9% en el contenido de proteínas, un ligero incremento en grasa esto se debe a que existe una disminución en el contenido de humedad (en el grano) ya que los granos son secados hasta obtener una humedad menor de 7,5% con la finalidad de detener la actividad enzimática, concordando con De Clerk (1962), Berna (1995) y Pomeranz (1975) en estudios de semillas germinadas y en cuanto a la fibra se puede apreciar una disminución de 0,2 a 1,60% debido a que durante la etapa de la devegetación se elimina parte de ella.

En el Cuadro 06, se muestra que durante el germinado se mantiene el contenido de proteína con un ligero incremento, lo cuál coincide con los reportes de (Berna, E. 1995; Chen y otros 1975), que afirman el ligero incremento de niveles de proteína en cereales germinados, los resultados fueron expresados en base húmeda. El germinado por 96 horas se incrementó en 0,9%, por lo que a este tratamiento se le considera como el óptimo, cuyas comparaciones se pueden apreciar en la Figura 3. Estos resultados concuerda con lo mencionado por (Hough y otros 1971) que el grano de cañihua tiene un elevado contenido en proteínas de 15-19% y al igual que la quinua tiene una proporción importante de aminoácidos

azufrados. En términos generales la proporción de proteína en el grano aumenta con el malteo debido a la acción enzimática marcadamente proteolítica. Dentro de las enzimas proteolíticas se distinguen las proteinasas y las peptidasas. La actividad proteolítica es más intensa en las maltas que en el grano y está fuertemente ligada a la variedad.

**Figura 3:** Comparación de la Composición química proximal de la cañihua germinada en periodos de 48, 72 y 96 horas.



**Fuente:** Elaboración propia.

Durante el germinado el comportamiento del % de la grasa fue reversible a la proteína, puesto que se puede observar en el cuadro 06, que a mayor tiempo de germinación el contenido de grasa disminuye relativamente, el germinado por 72 horas muestra una concentración de 10%; así mismo Hough y otros 1971 menciona que en general, la mayor parte de los lípidos presentes en los cereales se encuentran en el embrión y las materias grasas son parcialmente desdobladas durante el malteo lo que se traduce en un aumento de la cifra de acidez del material. Berna, (1995)

reporta una disminución de 0,4%. Se ha demostrado que aproximadamente un cuarto de las materias grasas desaparece durante el malteo debido a la respiración.

En cuanto al contenido de ceniza se observa disminuye considerablemente; Hough *et al*, (1971) citado por Risi, (1984) menciona que la ceniza en los cereales representa del dos al cinco % del peso seco del grano y casi no cambia durante el malteo, las muestras analizadas se encuentran dentro de este rango. Sin embargo existe una reducción de materiales inorgánicos en el grano debido al material trasladado a la raicilla y a las pérdidas por lixiviación durante el remojo.

En el contenido de Fibra se observa una disminución, conforme el tiempo de germinado transcurre, debido a la eliminación de la radícula durante la operación del devegetado y con relación al tiempo de germinación conforme esta transcurre mayor es la longitud de la radícula.

Y el contenido de carbohidratos se incrementa durante la germinación, esto debido a que la humedad disminuye, en los estudios efectuados de la cañihua por Berna (1995) menciona que los Carbohidratos disminuyen de 67,6% a 61,8%; ello debido a que el componente principal de los carbohidratos es el almidón y durante la germinación este es hidrolizado por las enzimas amilasas degradándose en dextrinas y maltosa, entre otros como los azúcares reductores los cuales se unen a los aminoácidos libres, durante el secado, para formar las melanoidinas.



## 4.2. COMPOSICION QUIMICO PROXIMAL DE CAÑIHUA GERMINADA EXTRUIDA

En el Cuadro 07, se presenta los resultados del análisis químico proximal de la cañihua germinada extruida de la variedad cupi. En donde se puede observar que:

En cuanto al contenido de **humedad** de los extruidos se hallan en un intervalo de 4,80 a 3,90%, los cuales están dentro de lo establecido por las Normas Técnicas Peruanas (N.T.P.) 209.226 permitidos para productos snacks, en donde indica que no debe ser superior al 7%, a su vez en investigaciones estudiadas por Segura (1999), Luque y Chaiña (2002) y por Incahuanaco (2003) sobre Cocción por Extrusión los niveles de humedad disminuyen considerablemente hasta en un 7%, lo que concuerda con la presente investigación.

**CUADRO 07**  
COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LA CAÑIHUA GERMINADA EXTRUIDA

COMPONENTES %	GRANO	GE1	GE2	GE3
Humedad	11,00	4,80	4,80	3,90
Lipidos	6,50	9,60	9,60	9,60
Proteina	16,80	16,60	17,10	18,00
Ceniza	5,10	2,70	2,68	3,00
Fibra	5,40	5,00	4,90	4,50
carbohidratos	55,20	61,30	60,92	61,00

**Fuente:** Elaboración propia.

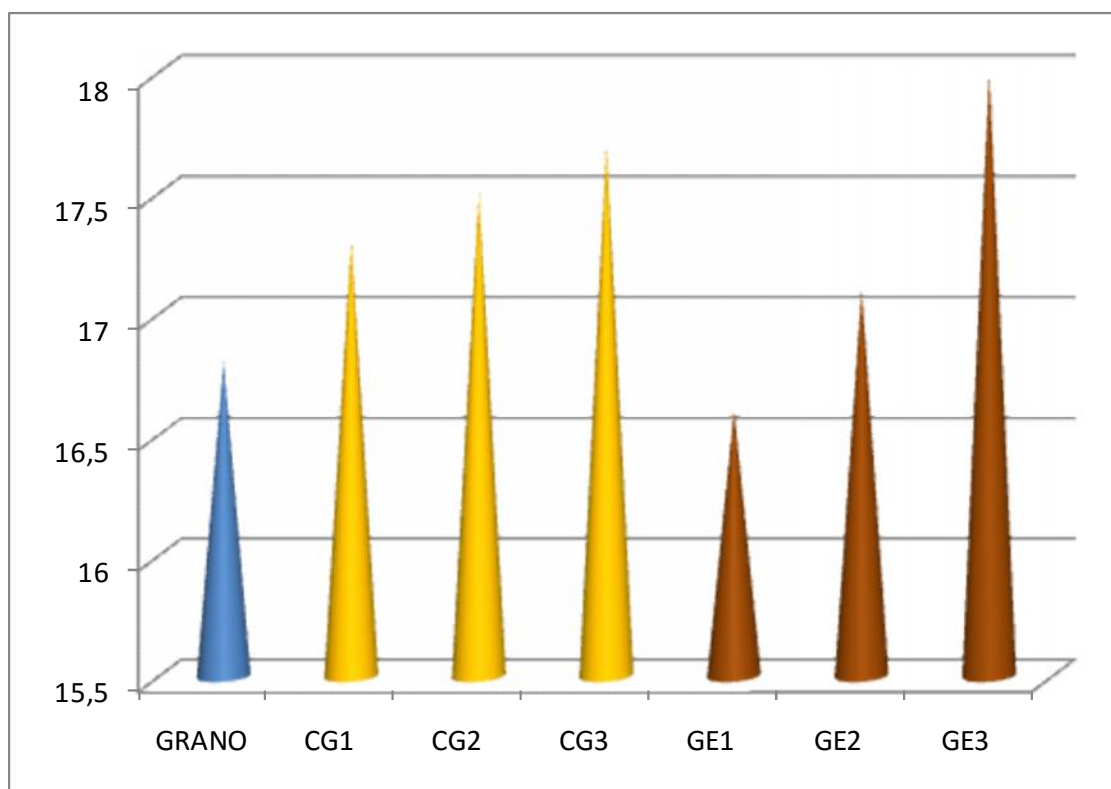
### LEYENDA:

GE1:	Cañihua germinada durante 48 horas y extruida
GE2:	Cañihua germinada durante 72 horas y extruida
GE3:	Cañihua germinada durante 96 horas y extruida

En cuanto al contenido de **proteína** la cañihua germinada extruida muestra un favorable y ligero aumento, comparando con los granos de

cañihua y granos germinados el contenido de proteína relativamente aumenta hasta 18.00 % ello debido al efecto de extrusión, lo que nos indica que al utilizar productos de alto valor proteico en procesos de extrusión (HTST) los porcentajes de proteínas se incrementan, comparaciones que se muestran en la Figura 4. A su vez los tres tratamientos se encuentran dentro de lo establecido por el *Codex Alimentarius* (1985), que indica que el contenido proteico es de 8%; así mismo Segura (1999), Luque y Chaiña (2002) e Incahuanaco (2003) en investigaciones reportan incrementos del porcentaje de proteínas lo que concuerda con la presente investigación. Por otro lado Bjorck y Asp, (1983) mencionan que el tratamiento térmico de proteínas vegetales generalmente mejora su digestibilidad debido a la inactivación de inhibidores de proteasas y otras sustancias antifisiológicas; sin embargo la disponibilidad de los aminoácidos puede verse afectada a través de mecanismos de oxidación y reacción de Maillard.

Durante el germinado el comportamiento del contenido de la **grasa** en la cañihua germinada extruida se incrementó en un promedio de 3% respecto al grano, pero respecto a la cañihua germinada (Cuadro 15) los tres tratamientos disminuyen ligeramente; lo cual concuerda con lo reportado por Segura (1999) Luque y Chaiña (2002) e Incahuanaco (2003) ya que en los dos primeros el contenido de grasa se mantiene estable y en el último esta disminuye. Así mismo Bjorck y Asp, (1983) menciona que la estabilidad de las grasas en harina disminuye con el incremento de la temperatura de extrusión.

**Figura 4:** Comparación Proteica de los granos de cañihua y sus derivados.

**Fuente:** Elaboración propia.

Respecto al contenido de **cenizas** se observa que se encuentra dentro del rango de 2,68% a 3,00%, los que se encuentran por debajo del 4% que es el máximo permitido en la N.T.P. 209.226.

Los **carbohidratos** durante la cocción por extrusión se mantienen relativamente estables, cuyos valores oscilan en un rango de 61,00 a 61,30%, valores inferiores a lo indicado por el *Codex Alimentarius* (1985) 78% para productos tipo extruidos de cereales.

#### **4.3. COMPUESTOS FENOLICOS DE CAÑIHUA GERMINADA Y CAÑIHUA GERMINADA EXTRUIDA**

En el Cuadro 08 , se muestra los diferentes resultados de los contenidos de compuestos fenolicos del cañihua extruida sin germinar y de sus derivados (germinado y extruido), donde se puede observar para

cañihua extruida un valor de 208.8 mg de ácido gálico /100g, se aprecia como un valor inferior con respecto a los demás tratamientos, así mismo en cuanto a los germinados reporto el mejor valor la cañihua germinada por 96 horas con un valor de 351.1 mg de ácido gálico /100g y de la misma manera se observa que la cañihua germinada por 72 horas y extruida presenta un valor de 446.4 mg de ácido gálico /100g el cual es superior a los demás tratamientos estudiados.

CUADRO 08

COMPUESTOS FENOLICOS DE LOS DERIVADOS DE CAÑIHUA (mg de ácido gálico/100g)

<b>Cañihua y derivados</b>	<b>Fenoles totales</b>
Cañihua extruida	208.8
Cañihua germinada por 48 horas	319.9
Cañihua germinada por 72 horas	299.0
Cañihua germinada por 96 horas	351.1
Cañihua germinada extruida por 48 horas	225.4
Cañihua germinada extruida por 72 horas	<b>446.4</b>
Cañihua germinada extruida por 96 horas	413.6

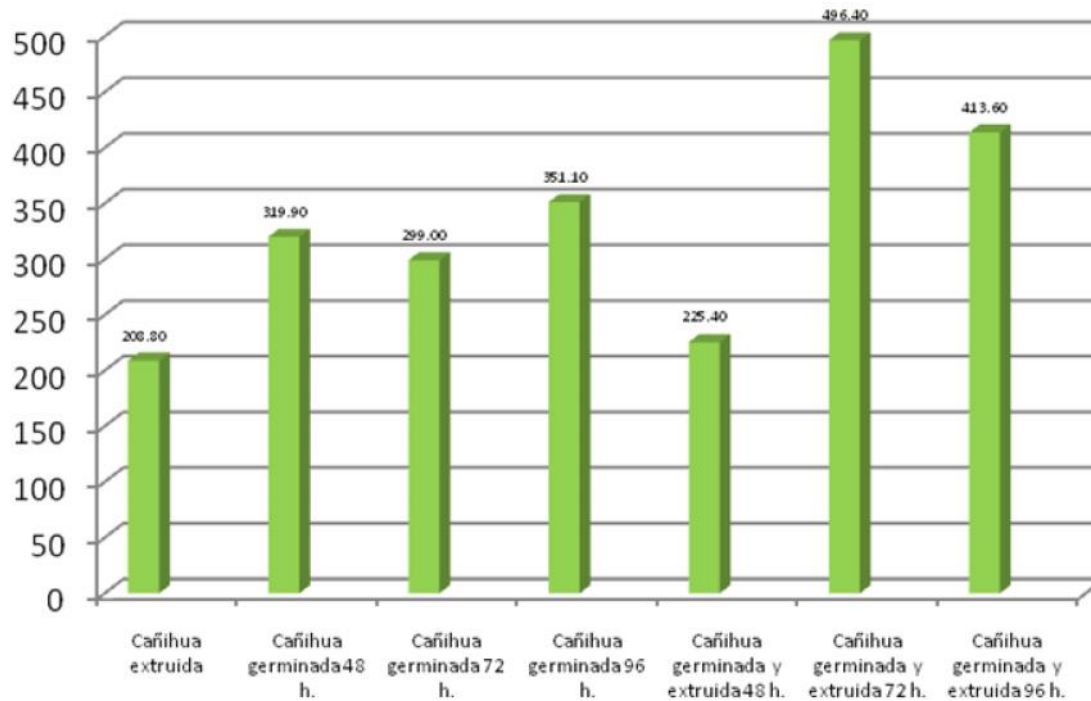
**Fuente:** Elaboración propia.

Corroborando con los resultados reportados por (Repo-carasco 2008) donde obtiene valores de compuestos fenólicos encontrados en todas las variedades de quinua, Cañihua y kiwicha donde compara con otros cereales como son en el caso del trigo (229-324 mg/ácido gálico/100 g) y del

rango encontrado para el amaranto de 39,17 a 56,08 mg/ácido gálico/100 g. En base a los resultados, indica que tanto las variedades de quinua, kañiwa y kiwicha son granos que poseen un buen nivel de compuestos fenólicos totales, lo que indica a su vez buenas características bioactivas, como puede ser una alta capacidad antioxidante.

Asimismo del estudio efectuado por repo carrasco (2008) en cuanto al contenido de compuestos fenólicos (mg/ácido gálico/100 g) refiere que las distintas variedades de cañihua evaluadas contienen compuestos fenolicos en el rango de 67,46 (PIK030273) a 85,71 (variedad Leghepito), mientras que la variedad cupi presenta un valor de 81,10 mg/ácido gálico/100 g, comparando con el presente trabajo de investigación se obtuvieron valores muy superiores a estas; resaltando la cañihua germinada y extruida por 72 horas; esto puede ser debido al proceso de transformacion ya que la comparacion efectuada es con granos de cañihua de diferentes variedades Y por el incremento actual en el uso de antioxidantes naturales, dentro de los cuales se encuentran los compuestos fenólicos quienes poseen una estructura química ideal para actuar como antioxidante, mostrando una mayor eficacia *in vitro* en comparación a otros compuestos, como las vitaminas E y C, asi como la propiedad de quelar metales, particularmente hierro y cobre, demuestra el rol de los compuestos fenólicos como antioxidantes preventivos en función a que inhiben las reacciones químicas que catalizan estos metales, evitando de esta manera la formacion de radicales libres. En la figura 5 se muestra la comparacion efectuada entre los derivados de cañihua.

**Figura 5:** Comparación de compuestos fenolicos mg de ácido gálico/100 g de los derivados de cañihua.



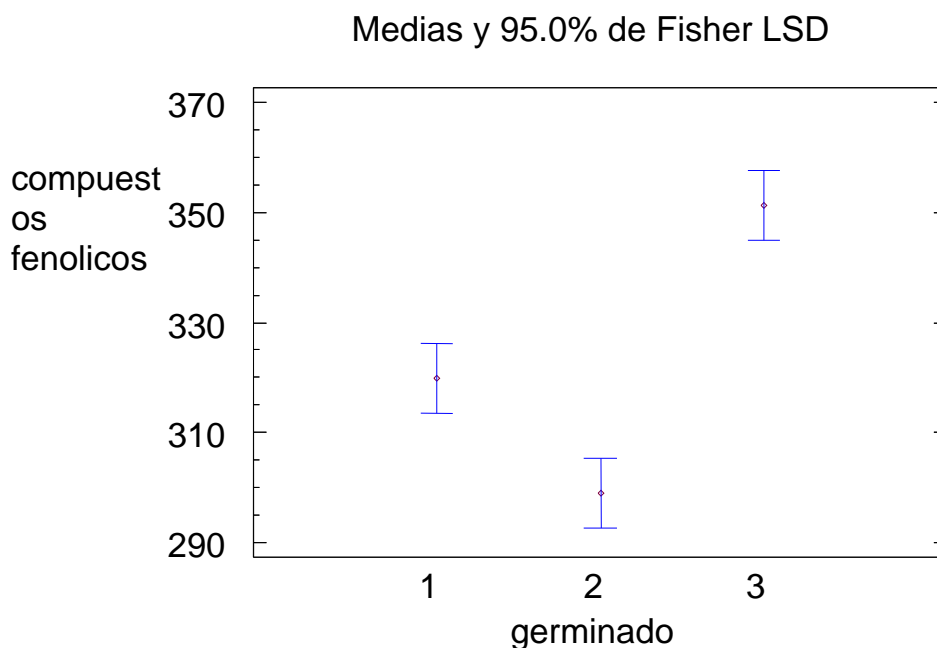
**Fuente:** Elaboración propia.

Y De acuerdo a la tabla de ANOVA (anexo A.1.2) Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de compuestos fenolicos entre un nivel de germinado y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se selecciono la Prueba de Tukey.

En el Anexo A.1.3 se muestra la media de compuestos fenolicos para cada nivel de germinado, así como el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo, asimismo también muestra un intervalo alrededor de cada media; los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima

significativa (LSD) de Fisher, de acuerdo a la Figura 06 se muestra que los tratamientos no se traslapan y que los tratamientos muestran diferencias significativas, mostrando que el tratamiento CG3 tiene un contenido de compuestos fenolicos elevados.

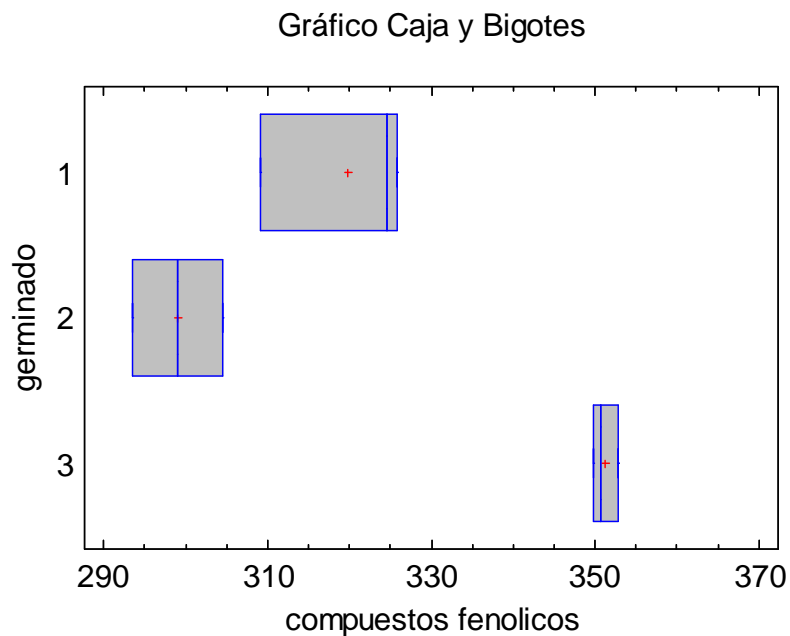
**Figura 6:** Comparación de medias de compuestos fenolicos para cañihua germinada.



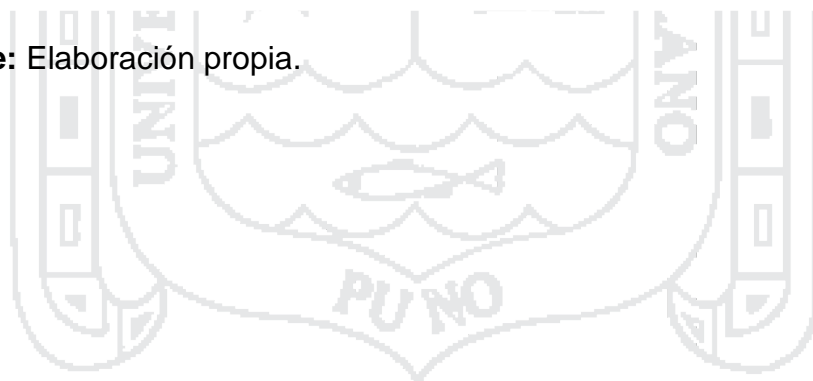
**Fuente:** Elaboración propia.

En el Anexo A.1.4 se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, en donde se puede visualizar que los pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza, identificándose 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, por lo tanto el tratamiento CG3 es el más adecuado por presentar un contenido de compuestos fenolicos más elevados. En la figura 7 se muestra el gráfico de caja y bigotes.

**Figura 7:** Grafico de caja y bigotes de compuestos fenolicos para cañihua germinada.



**Fuente:** Elaboración propia.



## 2.- EXTRUIDO DE GRANOS DE CAÑIHUA GERMINADO

Variable dependiente: compuestos fenolicos

Factor: extruido

Número de observaciones: 9

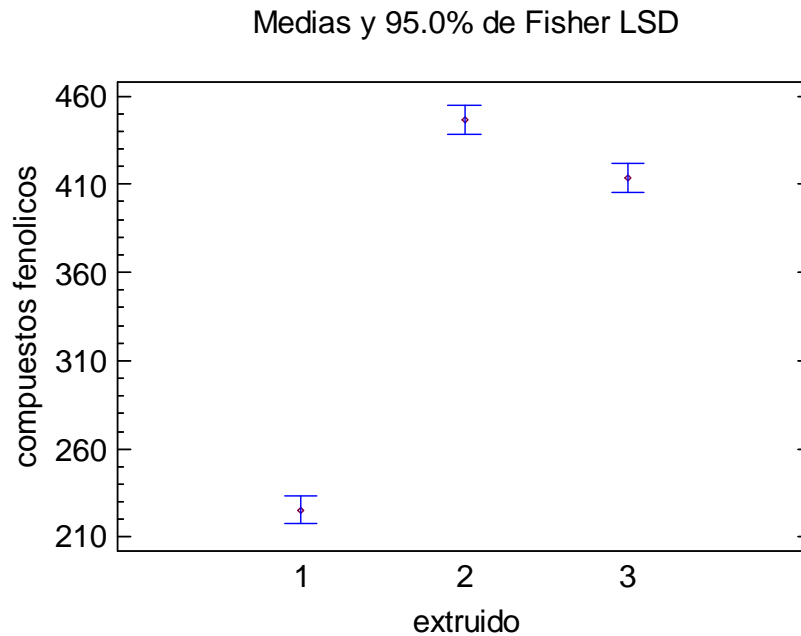
Número de niveles: 3



En el Anexo A.2.2 del ANOVA, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de compuestos fenolicos entre un nivel de extruido y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes se utilizo la prueba de tukey.

En el Anexo A.2.3 se muestra la media de compuestos fenolicos para cada nivel de extruido, también muestra el error estándar de cada media; en la que puede observar que las medias de los tratamientos no se traslapan la cual se puede contrastar con la Figura 8 por que los tratamientos muestran diferencias significativas, mostrando que el tratamiento GE2 tiene un contenido de compuestos fenólicos elevados.

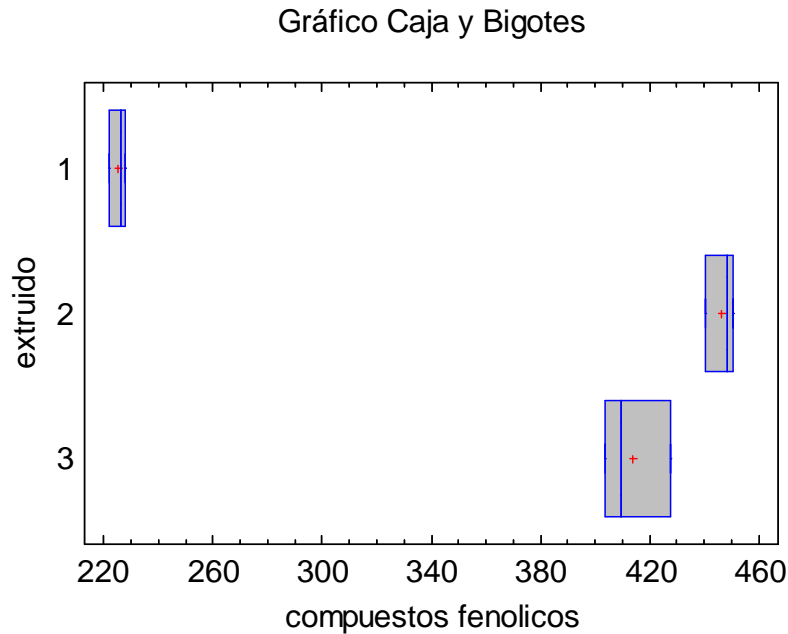
**Figura 8:** Comparación de medias de compuestos fenolicos para cañihua germinada.



**Fuente:** Elaboración propia.

En el Anexo A.2.4 de comparación múltiple de Tukey se utilizó para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, en donde en la presente investigación entre los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza, a su vez se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. En la figura 9 se muestra el gráfico de caja y bigotes.

**Figura 9:** Grafico de caja y bigotes de compuestos fenolicos para cañihua germinada.



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.4. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE CAÑIHUA GERMINADA Y CAÑIHUA GERMINADA EXTRUIDA

En el Cuadro 09 se observa los resultados de la capacidad antioxidante de los diferentes tratamientos de cañihua germinada y extruida, donde la cañihua germinada y extruida por 72 horas obtuvo un resultado alto de un valor de 5237  $\mu\text{mol trolox Equiv./100g}$ . y el resultado inferior califico la cañihua extruida con un valor de 2093.9  $\mu\text{mol trolox Equiv./100g}$ .

## CUADRO 09

CAPACIDAD ANTIOXIDANTES DE LOS DERIVADOS DE CAÑIHUA (umol  
trolox Equiv./100g)

Muestra	Capacidad antioxidante
Cañihua extruida	2093.9
Cañihua germinada por 48 horas	4054.1
Cañihua germinada por 72 horas	3560.1
Cañihua germinada por 96 horas	4432.5
Cañihua germinada extruida por 48 horas	2133.1
Cañihua germinada extruida por 72 horas	5237.2
Cañihua germinada extruida por 96 horas	4735.7

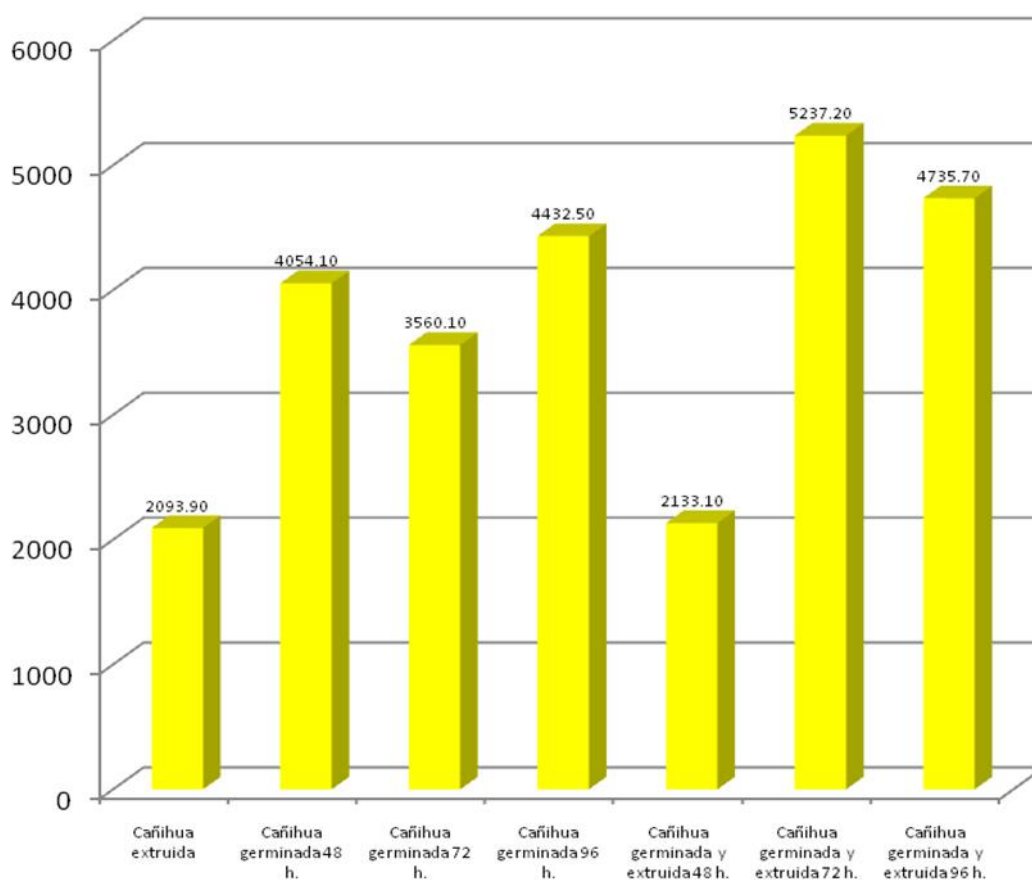
**Fuente:** Elaboración propia.

De los resultados obtenidos por (Repo-carrasco y encinas , 2008) de las variedades de quinua, la de mayor capacidad antioxidante determinada en la fase hidrofílica fue la variedad IIIIPA 2400,55  $\mu\text{g}$  trolox/g, seguida por las variedades Huariponcho (1902,15  $\mu\text{g}$  trolox/g), Achachino (1772,79  $\mu\text{g}$  trolox/g), Kcoito (1512,37  $\mu\text{g}$  trolox/g), (1502,85  $\mu\text{g}$  trolox/g), Khuuchiwa (912,41  $\mu\text{g}$  trolox/g), Ayrampo (232,39  $\mu\text{g}$  Trolox/g), con respectos a los resultados obtenidos en el presente trabajo son menores salvo la variedad Khuuchiwa que muestra un valor alto de 912,41  $\mu\text{g}$  trolox/g.

De las variedades de Cañihua, estudiadas por (Repo-carrasco y encinas , 2008) se observa una mayor capacidad antioxidante determinada en la fase hidrofílica fue la variedad Puka Kañihua (1509,80  $\mu\text{g}$  trolox/g),

seguida por las variedades, Illpa (1421,21  $\mu\text{g}$  trolox/g), Chilliwa (1347,85  $\mu\text{g}$  trolox/g), Ramis (1253,67  $\mu\text{g}$  trolox/g), Cupi (1165,98  $\mu\text{g}$  trolox/g), y observando los resultados del presente trabajo de investigación los resultados son muy altos hasta un valor de 5237.2 (umol trolox Equiv./100g) en Cañihua germinada extruida por 72 horas, tal como se aprecia en la Figura 05; esto se ha podido deber a que en el presente estudio se determino la Capacidad Antioxidante (CA) de los derivados de cañihua y por el método de determinación de La capacidad antioxidante, en los estudios efectuados por Repo-carrasco y encinas 2008 fue efectuado por el método del DPPH sin embargo en la presente investigación se trabajo con el método ABTS.

**Figura 10:** Comparación de la Capacidad Antioxidante mg de ácido gálico/100 g de los derivados de cañihua.



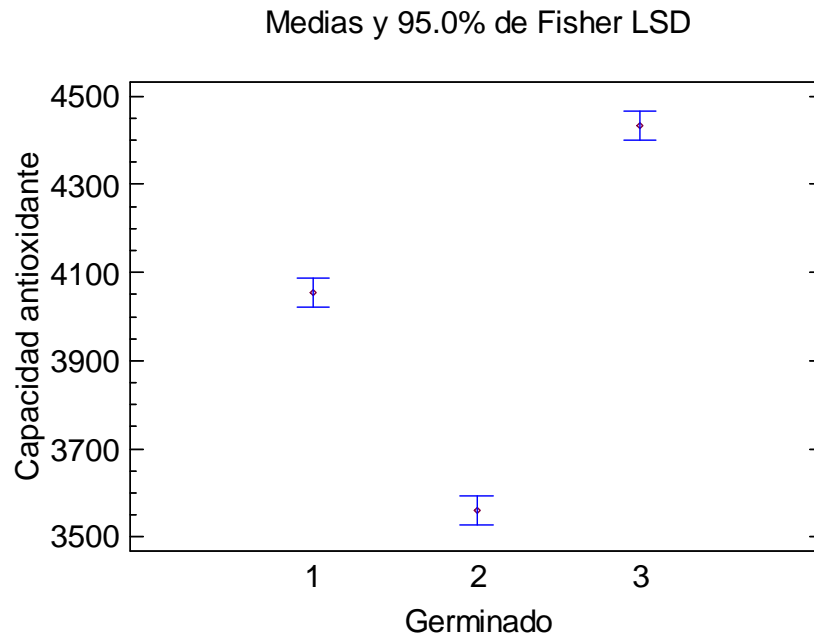
**Fuente:** Elaboración propia.

Por los resultados encontrados podemos indicar que todas la variedades de quinua, Cañihua y los de kiwicha tienen una baja capacidad antioxidante al ser comparados con resultados del presente trabajo de investigación. De esta forma se aporta con importante información sobre los cereales andinos nativos del Perú, y en especial con el creciente interés sobre los antioxidantes naturales por sus conocidos efectos contra los radicales libres, causantes de problemas de cáncer y enfermedades cardiovasculares, ambas enfermedades causantes de una elevada mortalidad mundial.

En el Anexo B.1.2 del ANOVA se puede observar que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, por lo tanto existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Capacidad antioxidante entre un nivel de Germinado y otro, con un nivel del 95.0% de confianza, a fin de determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras se selecciono la prueba de Tukey.

En el Anexo B.1.3 se muestra la media de Capacidad antioxidante para cada nivel de Germinado, a su vez se muestra el error estándar de cada media, en donde se puede observar que las medias no se traslapan, por lo que los tratamientos son diferentes estadísticamente, lo cual se puede corroborar con la Figura 11, en donde el tratamiento CG3 tiene una capacidad antioxidante elevada.

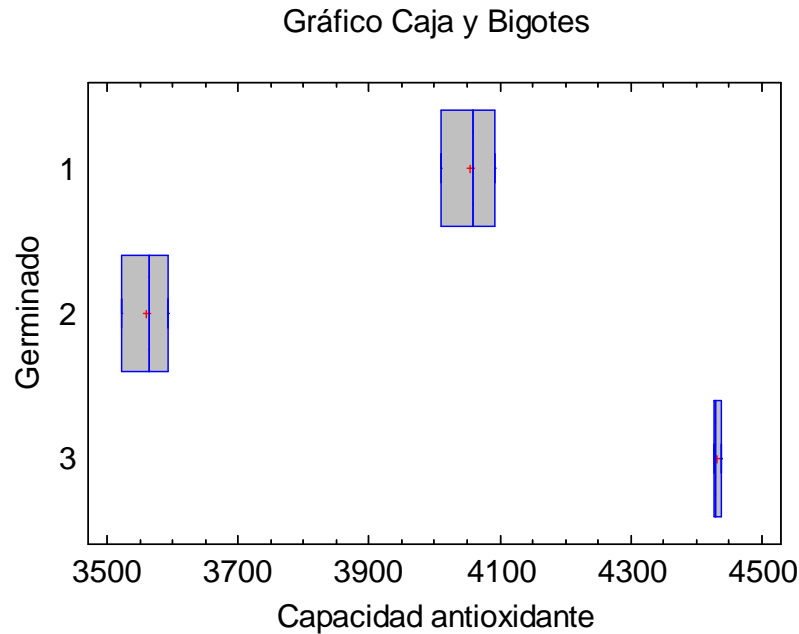
**Figura 11:** Comparación de medias de capacidad antioxidante para cañihua germinada.



**Fuente:** Elaboración propia.

En el Anexo B.1.4 del procedimiento de comparación múltiple de Tukey, los 3 pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza, asimismo se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, sin embargo el tratamiento CG3 presenta valores superiores en cuanto a capacidad antioxidante refiere. En la figura12 se muestra el grafico de caja y bigotes.

**Figura 12:** Grafico de caja y bigotes de capacidad antioxidante para cañihua germinada.



**Fuente:** Elaboración propia.

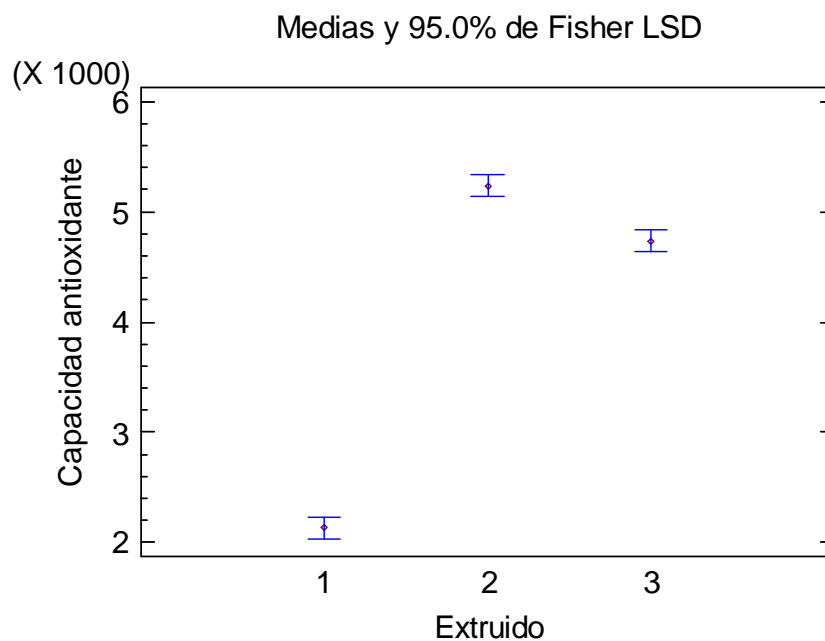
## 2.- EXTRUIDO DE GRANOS DE CAÑIHUA GERMINADO

En el Anexo B.2.2 se muestra el ANOVA que descompone la varianza de Capacidad antioxidante en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Capacidad antioxidante entre un nivel de Extruido y otro, con un nivel del 95.0% de confianza, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras se selecciono la prueba de Tukey.



En el Anexo B.2.3 se muestra la media de Capacidad antioxidante para cada nivel de Extruido, también muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo, en la que podemos observar que las medias son diferentes, la misma que se puede observar en la Figura 13 pues sus intervalos no se traslapan, a su vez se puede ver que el tratamiento GE2 presenta mayor capacidad antioxidante.

**Figura 13:** Comparación de medias de capacidad antioxidante para cañihua germinada.

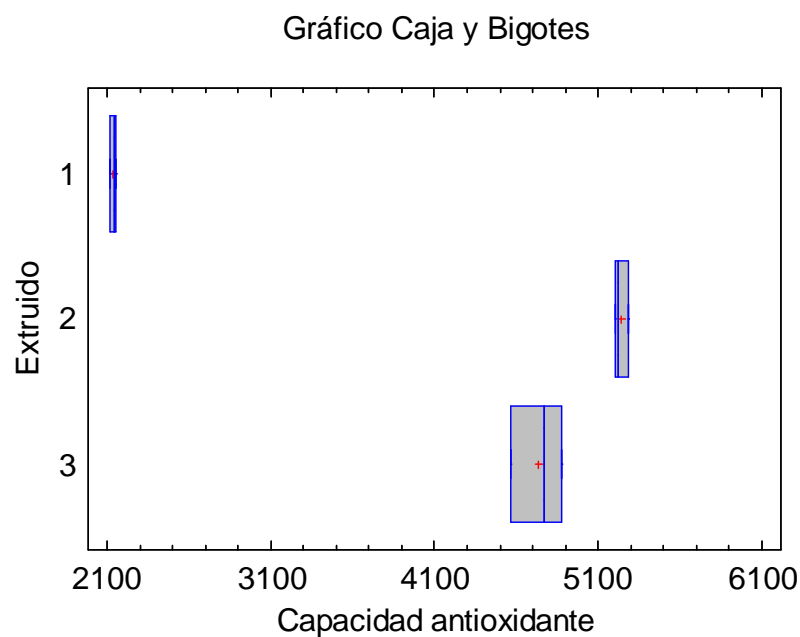


**Fuente:** Elaboración propia.

En el Anexo B.2.4 en la prueba de comparación múltiple de Tukey, se muestra que hay diferencias estadísticamente significativas entre los 3 pares con un nivel del 95.0% de confianza, asimismo en la parte superior se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en

columnas, lo cual nos indica que existe diferencias estadísticamente significativas, además de observar que el tratamiento GE2 presenta elevada Capacidad Antioxidante. En la figura14 se muestra el grafico de caja y bigotes.

**Figura 14:** Grafico de caja y bigotes de capacidad antioxidante para cañihua germinada.



**Fuente:** Elaboración propia.

## V. CONCLUSIONES

En base a los resultados encontrados, se llegó a las siguientes conclusiones:

1.- El contenido proteico durante el proceso de germinación se incrementa con el tiempo, la cañihua germinada por 96 horas fue la que presentó mayor contenido de proteínas de alrededor del 17,7%. Mientras que durante el proceso de cocción extrusión la cañihua germinada y extruida presenta niveles superiores de alrededor 18% de contenido de proteínas.

2.- Respecto al contenido de compuestos fenolicos la cañihua extruida presentó 208.8 mg de ácido galico Equiv./100g valor inferior con respecto a los demás tratamientos, en cuanto a los germinados la cañihua germinado por 96 horas presentó mayor contenido de compuestos fenolicos con un valor de 351.1 mg de ácido galico Equiv./100g y en cuanto a la cocción extrusión la cañihua germinada por 72 horas extruida presenta valores superiores a los otros tratamientos con un valor de 446.4 mg de ácido galico Equiv./100g. Concluyéndose que conforme se incrementa el tiempo de germinación el contenido de compuestos fenolicos aumenta y con la cocción extrusión se incrementa hasta lograr una estabilidad y luego disminuye con el tiempo de germinado.

3.- De los resultados de la capacidad antioxidante la cañihua extruida presentó 2093.9  $\mu\text{mol}$  trolox Equiv./100g. Valor inferior con respecto a los demás tratamientos, en cuanto a los germinados la cañihua germinado por 96 horas presentó mayor capacidad antioxidante con un valor de 4432.5

umol trolox Equiv./100g. y en cuanto a la cocción extrusión la cañihua germinada por 72 horas extruida presenta valores superiores a los otros tratamientos con un valor de 5237.2 umol trolox Equiv./100g. Concluyéndose que conforme se incrementa el tiempo de germinación la capacidad antioxidante aumenta y con la cocción extrusión se incrementa hasta lograr una estabilidad y luego disminuye con el tiempo de germinado.



## VI.- RECOMENDACIONES

- 1.- Con los parámetros estudiados en este trabajo estudiar los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante con el método DPPH.
- 2.- Realizar estudios exhaustivos de otros compuestos antioxidantes.
- 3.- Con la cañihua estudiada ya sea por el proceso de germinación como por cocción extrusión, formular dietas adecuadas a las diferentes poblaciones con un adecuado balance de nutrientes.
- 4.- Efectuar estudios de otros productos caracterizando sus componentes bioactivos, de manera tal de aprovechar la riqueza vegetal del Departamento de Puno y del Perú.

**BIBLIOGRAFIA**

A.O.A.C. (1990). Oficial Methods of Analisis of the Association of the Oficial Agricultura Chemist. Ed. Boar.

Arnao, H. (2001) Some metodological Problems in tue determination od Food Science and tecnologia. (11) pp.409-431. Bran Bretaña.

Barcelo, C. J. y otros (2001). Fisiología vegetal. Ediciones Pirámide. España.

Badui, S. (1996) "Diccionario de tecnología de los alimentos" Editorial Alambra, México.

Berna, E.B. (1995): "Obtención y caracterización de harinas a partir de germinados de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y Lenteja (*Lens culinaris*)". Tesis. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú.

Bjorck, I. y Asp, N. G. (1983). "The effects of Extrusion Cooking on Nutrition Value-A Literarure Review". Journal of Food Engineering.

Blanco de Alvarado y Ortiz. (1982). La cañihua. En: Cereales en la nutrición humana tomo II (capítulo VII) Impreso en Perú offset. Lima-Perú.

Collazos, C. (1996): "La composición de los alimentos Peruanos". 4ta. Edición. Instituto Nacional de Nutrición. Lima-Perú.

Centro Nacional de Alimentación y Nutrición/ Ministerio de Salud/ Instituto Nacional de Salud, (1993): "Tabla de Composición de los Alimentos". Lima-Perú.

Dirección sub regional de agricultura, (2005). Oficina de Estadística. Campañas Agrícolas. Puno-Perú.

FAO, (2000): Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación "Manual sobre Utilización de los Cultivos Andinos Subexplotados en la Alimentación". Santiago-Chile.

FELLOWS, P (1994) "Tecnología del procesado de los alimentos" Editorial Acribia S.A., Zaragoza, España.

FENNEMA O. R. (1992) Introducción a la ciencia de los alimentos Editorial Reverté S. A. España

Fennema, O. R. (1993). "Química de los alimentos". Editorial Acribia, S.A. Zaragoza - España.

Frankel, E.N. (1998). In search of better methods to evaluate natural antioxidants and oxidative stability in foods lipids. Food Science and Technology, v. 4.

Frias, C.C. (1997). "Mujeres: tecnologías invisibles", Experiencias desde América Latina. Intermediate Technology Development. Perú.

Gómez, M. H. y Aguilera, J. M. (1983). "Changes in the Starch Fraction During Extrusion-Cooking of Corn". Journal of Food Science.

Gonzáles, S. J. (1991). "Elaboración a base de cereales expandidos". Revista Industrias Alimenticias. Volumen dos. Número cinco. Colombia.

Grosch, B. (1992). "Química de los alimentos". 2<sup>o</sup> edición. Editorial Acribia. Zaragoza-España.

Harper, J. M. (1981). "Extrusion of foods". Vol I y II. Editorial CRC Press – Boca Ratón.

Harper, J. M. (1988). "Nutritional Evaluation of food processing: Effects of Extrusion Processing on Nutrients" Editorial Karmas y Harris. New York. USA.

Harper, (1992). "Bioquímica de Harper". Editorial el Manual Moderno, S.A. de C.V. Sonora – México.

Hernández, J. E. y León, J. (1992): "Cultivos marginados, otra perspectiva de 1492" Colección FAO: *Producción y protección vegetal* N° 26 Roma, Italia.



Hornsey, I. (2003). "Elaboración de cerveza, microbiología bioquímica y tecnología". Primera edición. Editorial Acribia. Zaragoza-España

Huanatico, E. (2008). "Efecto del germinado y extrusión sobre el contenido de aminoácidos de la cañihua (*chenopodium pallidicaule* aellen) y su elaboración de donas" Tesis. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.

Incahuanaco, W. (2003). "Determinación de Parámetros en secado, cocción-extrusión y vida en anaquel en harina instantánea de Isaño (*Tropaeolum tuberosum* R. Et P.)". Tesis. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.

Kent, N. L. (1987). "Tecnología de los cereales". Editorial Acribia. Madrid-España.

Kent, J. y Amos (1967). *Modern Cereal Chemistry* Food Trades Press. Ltd London.

Kokini, J. (1992). "Food extrusion science and technology". Marcel Dekker Inc. The State University of New Jersey, New Brunswick. New Jersey-EE.UU.

Lescano, J. (1997): "Cultivo de Cañihua". IX Congreso Internacional de cultivos andinos "Oscar Blanco Galdos" 22-25 de Abril de 1997. Resúmenes. Curso Pre Congreso. Arariwa, CICA. Cusco-Perú.

Linko, P. (1981). "Advance in Cereal Science y Technology: temperatura Short-Time Extrusion Cooking".

Luque, O. 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.), Habas (*Vicia faba*), y Soya (*Glycine soja*)". Tesis. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.

Molina, J. L. (1989). "La cebada, Morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales". Ediciones mundi- prensa. Madrid –España.

Mujica, A. y otros (2002): "La Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en la Nutrición Humana del Perú". Puno-Perú.

Othón, S. S. (1996). "Química, Almacenamiento e industrialización de los cereales". Primera edición: Editorial S.A. México.

Pascual, G. y Ramos, C. (2000). "Manual de prácticas de tecnología de cereales y leguminosas". Universidad Nacional Agraria la Molina. Facultad de Industrias Alimentarias. Lima-Perú.

Primo, E. (1995). "Química de los Alimentos". Editorial síntesis. España.

Perez-Leon, M. H. (2005). Evaluación de las características funcionales de 10 cultivares de masgua (*Tropaleum tuberosum*) en 6 estados de crecimiento y diferentes períodos de secado. Tesis UNALM. Perú.

POKORNY, J. (2001). Antioxidantes de los alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza-España

Ranken, M. (1993). "Manual de Industrias de los Alimentos". Editorial Acribia. Zaragoza-España.

Repo-Carrasco, R. (1992). "Cultivos Andinos y la Alimentación Infantil". Editorial Didí de Arteta S.A. Lima-Perú.

Repo-carrasco, R. (1998). "Introducción a la Ciencia y Tecnología de Cereales y de Granos Andinos". EDI-Agraria. Lima-Perú.

Risi, M.A. (1985). "Estudio de la Calidad Maltera de Variedades de Cebada nacional mediante pruebas de Micromalteo". Tesis. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú.

Repo-Carrasco, R. (1993). Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y de granos andinos. Jacobsen. Lima-Perú.

Repo-Carrasco, R., Espinoza, C. y Jacobsen, S.E. (2001). Valor nutricional y usos de la quinua y de la cañihua. Editores Jacobsen. Lima-Perú.

Repo Carrasco y Encina (2008). *Rev Soc Quím Perú*. 2008, 74, N° 2 (85-99) Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa*), cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.

Segura, R. (1999). “Elaboración de una mezcla alimenticia a base de oca (*Oxalis tuberosa* Mol), Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)” .Tesis. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.

Sota, B. (2003): “Determinación de la humedad adecuada en las proporciones de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y maíz (*Zea mays*) expandidos por extrusión”. Tesis. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.

Sucari, M.L. (2003): “Determinación de humedad y presión en el proceso de expansión por explosión para dos variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)”. Tesis. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.

Perez-leon, M.H. (2005). Evaluación de las características funcionales de 10 cultivares de mashua en 6 estados de crecimiento y diferentes periodos de secado. Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina – Lima.

Rodriguez de Amaya, D. (1999). Carotenoides y preparación de alimentos. La retención de los carotenoides, Pro vitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados.

Tapia, M.E. (2000). "Cultivos Andinos sub explotados y su aporte en la Alimentación). 2º Edición. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago-Chile.

TAPIA, M. E. (2000) "Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación" 2º edición, Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile.

Tapia, M.E. (1990). Cultivos andinos sub-explotados y su aporte a la alimentación. FAO/RALC, Santiago de Chile, pp. 59-164.

UNA, (2000). Revista agroindustrial. Año II, N° 2, noviembre 2000. Carrera profesional de agroindustria, facultad de ciencias agrarias de la UNA-Puno, Perú.

Valdez, J.C. (1994). "Obtención de una mezcla nutritiva a base de quinua y cebada malteadas". Tesis. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú.



# ANEXOS

## ANEXO A

### COMPUESTOS FENOLICOS

#### 1.- GERMINADO DE GRANOS DE CAÑIHUA

Variable dependiente: compuestos fenolicos

Factor: germinado

Número de observaciones: 9

Número de niveles: 3

#### Anexo A.1.1: Resumen Estadístico para compuestos fenolicos

<i>germinado</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
1	3	319.867	9.25707	2.89404%	309.2	325.8	16.6
2	3	299.033	5.55008	1.85601%	293.5	304.6	11.1
3	3	351.133	1.59478	0.454182%	349.8	352.9	3.1
Total	9	323.344	23.3563	7.22334%	293.5	352.9	59.4

<i>Germinado</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
1	-1.20163	
2	0.01911	
3	0.80077	
Total	0.222395	-1.07915

**Anexo A.1.2: ANOVA para compuestos fenolicos por germinado**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4126.04	2	2063.02	51.99	0.0002
Intra grupos	238.08	6	39.68		
Total (Corr.)	4364.12	8			

**Anexo A.1.3: Medias para compuestos fenólicos por germinado con intervalos de confianza del 95.0%**

<i>germinado</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est. (s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
1	3	319.867	3.63685	313.574	326.159
2	3	299.033	3.63685	292.741	305.326
3	3	351.133	3.63685	344.841	357.426
Total	9	323.344			

**Anexo A.1.4: Pruebas de Múltiple Rangos para compuestos fenólicos por germinado**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Germinado</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	3	299.033	X
1	3	319.867	X
3	3	351.133	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 – 2	*	20.8333	15.7811
1 – 3	*	-31.2667	15.7811
2 – 3	*	-52.1	15.7811

\* indica una diferencia significativa.



## 2.- EXTRUIDO DE GRANOS DE CAÑIHUA GERMINADO

Variable dependiente: compuestos fenólicos

Factor: extruido

Número de observaciones: 9

Número de niveles: 3

### Anexo A.2.1: Resumen Estadístico para compuestos fenólicos

<i>Extruido</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
1	3	225.433	2.94845	1.3079%	222.1	227.7	5.6
2	3	446.433	5.25484	1.17707%	440.5	450.5	10.0
3	3	413.6	12.49	3.01982%	403.6	427.6	24.0
Total	9	361.822	103.507	28.6073%	222.1	450.5	228.4

<i>Extruido</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
1	-1.00049	
2	-0.987696	
3	0.914531	
Total	-0.944406	-1.05159

**A.2.2: ANOVA para compuestos fenólicos por extruido**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	85325.7	2	42662.9	665.54	0.0000
Intra grupos	384.613	6	64.1022		
Total (Corr.)	85710.3	8			

**A.2.3:Tabla de Medias para compuestos fenólicos por extruido con intervalos de confianza del 95.0%**

<i>extruido</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est. (s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
1	3	225.433	4.62249	217.435	233.431
2	3	446.433	4.62249	438.435	454.431
3	3	413.6	4.62249	405.602	421.598
Total	9	361.822			

**A.2.4:Pruebas Múltiple Rangos para compuestos fenolicos por extruido**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>extruido</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	3	225.433	X
3	3	413.6	X
2	3	446.433	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 – 2	*	-221.0	20.058
1 – 3	*	-188.167	20.058
2 – 3	*	32.8333	20.058

\* indica una diferencia significativa.

## ANEXO B

### CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

#### 1.- GERMINADO DE GRANOS DE CAÑIHUA

Variable dependiente: Capacidad antioxidante

Factor: Germinado

Número de observaciones: 9

Número de niveles: 3

#### Anexo B.1.1: Resumen Estadístico para Capacidad antioxidante

<i>Germinado</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
1	3	4054.03	41.8685	1.03276%	4009.7	4092.9	83.2
2	3	3560.1	35.6859	1.00238%	3522.5	3593.5	71.0
3	3	4432.5	6.08523	0.137287%	4427.9	4439.4	11.5
Total	9	4015.54	379.871	9.46001%	3522.5	4439.4	916.9

<i>Germinado</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
1	-0.40838	
2	-0.369312	
3	1.03086	
Total	-0.247075	-1.04221

**Anexo B.1.2: Tabla ANOVA para Capacidad antioxidante por Germinado**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.14829E6	2	574144.	562.25	0.0000
Intra grupos	6126.97	6	1021.16		
Total (Corr.)	1.15442E6	8			

**Anexo B.1.3: Medias para Capacidad antioxidante por Germinado con intervalos de confianza del 95.0%**

<i>Germinado</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est. (s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
1	3	4054.03	18.4496	4022.11	4085.96
2	3	3560.1	18.4496	3528.18	3592.02
3	3	4432.5	18.4496	4400.58	4464.42
Total	9	4015.54			

**Anexo B.1.4: Pruebas de Múltiple Rangos para Capacidad antioxidante por Germinado**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Germinado</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	3	3560.1	X
1	3	4054.03	X
3	3	4432.5	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	493.933	80.0569
1 - 3	*	-378.467	80.0569
2 - 3	*	-872.4	80.0569

\* indica una diferencia significativa.

## 2.- EXTRUIDO DE GRANOS DE CAÑIHUA GERMINADO

Variable dependiente: Capacidad antioxidante

Factor: Extruido

Número de observaciones: 9

Número de niveles: 3

### Anexo B.2.1 Resumen Estadístico para Capacidad antioxidante

<i>Extruido</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
1	3	2133.13	18.9919	0.89033%	2111.8	2148.2	36.4
2	3	5237.17	38.8801	0.742388%	5208.4	5281.4	73.0
3	3	4735.67	158.808	3.35345%	4562.3	4874.1	311.8
Total	9	4035.32	1445.42	35.8192%	2111.8	5281.4	3169.6

<i>Extruido</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
1	-0.935627	
2	1.06549	
3	-0.666077	
Total	-0.932047	-1.05416

**Anexo B.2.2: ANOVA para Capacidad antioxidante por Extruido**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.66597E7	2	8.32985E6	922.38	0.0000
Intra grupos	54184.8	6	9030.81		
Total (Corr.)	1.67139E7	8			

**Anexo B.2.3: Medias para Capacidad antioxidante por Extruido con intervalos de confianza del 95.0%**

<i>Extruido</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est. (s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
1	3	2133.13	54.8659	2038.2	2228.06
2	3	5237.17	54.8659	5142.24	5332.1
3	3	4735.67	54.8659	4640.74	4830.6
Total	9	4035.32			

**Anexo B.2.4: Pruebas de Múltiple Rangos para Capacidad antioxidante por Extruido**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Extruido</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	3	2133.13	X
3	3	4735.67	X
2	3	5237.17	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 – 2	*	-3104.03	238.076
1 – 3	*	-2602.53	238.076
2 – 3	*	501.5	238.076

\* indica una diferencia significativa.

## ANEXO C

VISTA 1

GERMINADO DE GRANOS DE CAÑIHUA



VISTA 2

GRANOS DE CAÑIHUA GERMINADO



VISTA 3  
EXTRUSOR MONOTORNILLO

