

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**“EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL EN EL
PROCESAMIENTO DE SOLEADO, COCCIÓN-EXTRUSIÓN Y
OBTENCIÓN DE HARINA DE IZAÑO (*Tropaeolum tuberosum* R. et P.)”.**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. : Emerson Idme Hañari

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO PERÚ

2010

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

“EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL EN EL PROCESAMIENTO DE SOLEADO, COCCIÓN-EXTRUSIÓN Y OBTENCIÓN DE HARINA DE IZAÑO (*Tropaeolum tuberosum* R. et P.)”.

TESIS

PRESENTADO POR:

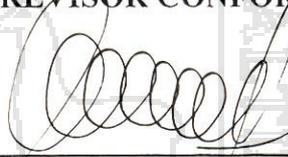
Bach. Emerson Idme Hañari.

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE


Ing. AMILCAR BUENO MACEDO

PRIMER MIEMBRO


Ing. WILBER INCAHUANACO YUCRA

SEGUNDO MIEMBRO


Ing. VALERIO ROQUE ILLANES

DIRECTOR DE TESIS

Ing. M.Sc. ROGER SEGURA PEÑA.

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Propiedades físicas y estructurales

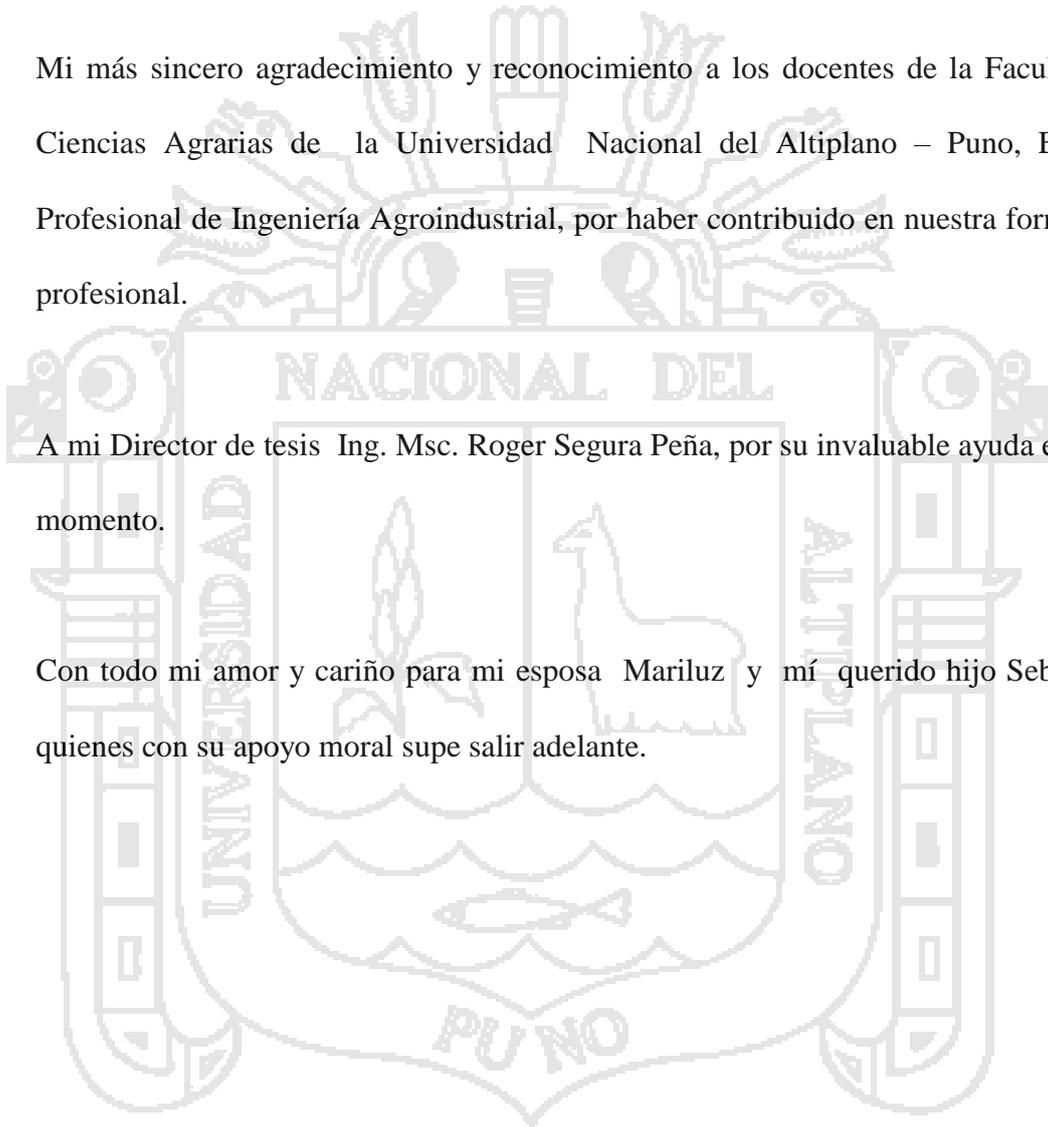
AGRADECIMIENTOS

Con mucho reconocimiento a mis queridos padres Victoriano y Flora, por su invaluable apoyo, dignidad y sacrificio en mi formación profesional.

Mi más sincero agradecimiento y reconocimiento a los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por haber contribuido en nuestra formación profesional.

A mi Director de tesis Ing. Msc. Roger Segura Peña, por su invaluable ayuda en todo momento.

Con todo mi amor y cariño para mi esposa Mariluz y mi querido hijo Sebastián, quienes con su apoyo moral supe salir adelante.



INDICE

RESUMEN	9
I. INTRODUCCION	10
II. REVISION DE LITERATURA	12
2.1 Izaño (<i>Tropaeolum tuberosum</i> R. et P.)	12
2.1.1 Origen.	12
2.1.2. Descripción Botánica, Variedades.	13
2.1.3. Clasificación taxonómica del izaño.	15
2.1.4 Características agronómicas.	15
2.1.5. Características fisiológicas del cultivo de izaño	16
2.1.6. Producción de izaño en el departamento de Puno.	17
2.1.7 Almacenamiento de Tubérculos.	18
2.1.8 Formas de Utilización.	20
2.1.9 Valor nutritivo de los tubérculos andinos.	21
2.1.10 Procesamiento.	23
2.1.11 Soleado del Izaño (<i>Tropaeolum tuberosum</i> R. et P.)	26
2.1.11.1 Proceso de soleado.	26
2.1.12 Los compuestos fenólicos.	26
2.1.13 Vitaminas en el izaño.	27
2.2 Secado.	29
2.2.1 Sistemas de deshidratación	31
2.2.2. Procesos básicos del secado.	32
2.2.2.1. Actividad del agua	32
2.2.2.2. Difusión de la humedad	33
2.2.2.3. Transferencia de materia y calor	33
2.2.3 Curvas de velocidad de secado	34
2.4. Extrusión.	39
2.4.1 El Proceso de Extrusión.	41
2.4.2 Tipo de Extrusores.	43

2.4.3	Principales variables en el proceso de extrusión	47
2.4.3.1	Variables independientes	47
2.4.3.2	Variables independientes del diseño	48
2.4.3.3	Respuestas	48
2.4.4	El Almidón: Principal formador de estructura en la Cocción por Extrusión.	49
2.4.5	Evaluación de las Propiedades de los Productos Obtenidos por Extrusión.	50
2.4.6	Efectos de las variables de extrusión sobre la expansión.	51
III	MATERIALES Y METODOS.	53
3.1	Lugar de Investigación	53
3.2	Materiales, Equipos y Reactivos.	53
3.2.1	Materia Prima.	53
3.3.2	Equipos, Materiales y Reactivos.	53
3.3.2.1	Equipos.	53
3.3.2.2	Materiales.	55
3.3.2.3.	Reactivos.	56
3.3	Procedimiento experimental de operaciones.	56
3.4	Análisis bromatológico del izaño fresco, Soleado (deshidratado) y extruido.	60
3.4.1	Determinación de pH.	60
3.4.2	Determinación de la humedad.	60
3.4.3	Determinación de cenizas.	61
3.4.4	Determinación de la fibra cruda.	61
3.4.5	Determinación de la proteína	62
3.4.6	Determinación de la grasa.	62
3.4.7	Determinación de Acido Ascórbico (Vitamina C).	63
3.5	Análisis estadístico	64
3.5.1.	Modelo matemático	64
3.5.2.	Variables de respuesta	65
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	66
4.1	Resultados durante el proceso de deshidratado.	66
4.2	Resultados de las corridas experimentales de proceso cocción - extrusión.	76
4.3	Contenido de Vitamina C.	77
4.4.	Composición químico proximal en la materia prima, después del secado y en	

el producto final (Harina instantánea de izaño).	82
V. CONCLUSIONES	88
VI. RECOMENDACIONES	90
VII. BIBLIOGRAFIA	91
VIII. ANEXOS	95



INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 01: Producción de izaño en Miles de Toneladas Métricas.	17
Cuadro N° 02. Almacenamiento tradicional en oca, olluco y izaño.	19
Cuadro N° 03: Composición química de izaño valores sobre materia seca.	22
Cuadro N° 04: Composición de aminoácidos en el tubérculo izaño (mg de aa/g de proteína)	23
Cuadro N° 05. Composición Química de las Raíces y Tubérculos Andinos.	24
Cuadro 06: Composición Química/Harinas Obtenidas de las RTA's en 100 g. de Materia Seca.	24
Cuadro N° 07: Resultados de proceso de secado en izaño fresco a temperatura de 40°C.	68
Cuadro N° 08: Resultados de proceso de secado en izaño fresco a temperatura de 50°C	70
Cuadro N° 09: Resultados de proceso de secado en izaño fresco a temperatura de 60°C.	72
Cuadro N° 10: Balance de materia en el proceso de extrusión.	77
Cuadro N° 11: Contenido de Vitamina C en muestras estudiadas.	78
Cuadro N° 12: Evaluación de la vitamina C tratadas a diferentes temperaturas (cuadro ordenado de resultados)	79
Cuadro N° 13: Análisis de Variancia de los tratamientos a diferentes temperaturas de deshidratación (cuadro ordenado).	79
Cuadro N° 14: Composición químico proximal en la materia prima, después de deshidratado y en el producto final.	82

INDICE DE GRAFICOS

Grafico N° 01: Curva de variación de humedad en función al tiempo.	37
Grafico N° 02: Curva típica de velocidad de secado	38
Grafico 03: Esquema que muestra las distintas zonas de un extrusor modelo. (González, 1988).	45
Grafico 04. Diagrama de las formas físicas del almidón y los métodos de evaluación.	51
Grafico N° 05: Diagrama de flujo para la obtención de harina instantánea de izaño	59
Grafico N° 06: Curva de secado de izaño fresco a 40°C.	69
Grafico N° 07: Curva de secado de izaño fresco a 50°C.	71
Grafico N° 08: Curva de secado de izaño fresco a 60°C.	73
Grafico N° 09: Relación de contenido de Vitamina C en izaño fresco, deshidratado y extruido.	78
Grafico N° 10: Composición químico proximal en la materia prima, después de deshidratado y en el producto final.	83
Grafico N° 11: Relación de pH entre el izaño fresco, deshidratado y extruido.	87

RESUMEN

Se realizó la evaluación nutricional durante el procesamiento de soleado (deshidratado), cocción-extrusión y obtención de harina instantánea de izaño (*Tropaeolum tuberosum* R. et P.), teniendo como indicador la eficiencia del proceso de deshidratación a la Vitamina C, buscando aportar conocimientos sobre la deshidratación del izaño pretendiéndose incrementar la demanda de este tubérculo andino como alternativa alimentaria con un valor nutricional.

Se trabajó con muestras de izaño provenientes de la provincia de Huancané, del departamento de Puno, estas fueron sometidas a proceso de deshidratación en un deshidratador de bandejas, a tres temperaturas 40, 50 y 60°C, y para determinar el contenido de indicador de eficiencia se utilizó el equipo de cromatografía líquida de alta resolución.

Posteriormente se realizó el tratamiento estadístico como también curvas de deshidratación obteniéndose tiempo y temperatura para cada muestra, el análisis de variancia y test de Tukey para comparar los promedios de contenido de Vitamina C a las diferentes temperaturas. Determinando que la temperatura óptima y mejor conservación de Vitamina C en las muestras, es de 60°C, a esta temperatura el tiempo de deshidratación fue 260 min y su deshidratado contiene 52.00 mg/100g en base seca de Vitamina C. Determinándose que la exposición del producto a temperaturas y tiempos menores, el contenido de Vitamina C es afectado en menor proporción, logrando que los productos obtenidos del proceso sean considerados como una alternativa alimenticia en la dieta diaria por la conservación de su valor nutricional.

I. INTRODUCCION

La constante preocupación de la industrialización de productos alto andinos como cereales y los tubérculos, que hasta el momento poco se sabe, sobre todo el Izaño actualmente no es aprovechado técnicamente a causa del desconocimiento de una tecnología adecuada; no obstante el aporte Nutritivo de estos tubérculos alto andinos, la presencia de algunos factores anti nutricionales. Como: enzimas oxidativas y sabores desagradables, se convierten en los principales obstáculos para el mejor y mayor aprovechamiento directo en la alimentación humana, siendo necesario conocer el procesamiento de harina de izaño, a través de la cocción-extrusión.

A pesar de las múltiples ventajas del proceso de cocción - extrusión que tiene alta versatilidad, alta productividad, bajo costo y capacidad para producir alimentos de alta calidad; no se han realizado estudios sobre la composición nutricional durante el procesamiento de soleado, cocción - extrusión y molienda de harina instantánea de izaño (*Tropaeolum tuberosum* R. et P.); razón por lo cual ¿la composición nutricional de izaño variara durante el procesamiento de soleado, cocción extrusión y molienda? Y en que porcentajes y en función a que factores será afectado los nutrientes de izaño?, sabiendo que el izaño tiene en mayor proporción los azúcares reductores, acidez, pH y vitaminas, estudiado por Sperlling y King (1990) citado por Pérez (2005).

En tal sentido los objetivos generales y específicos son:

- Evaluar la composición nutricional en el procesamiento de soleado, cocción - extrusión y obtención de harina de izaño (*Tropaeolum tuberosum* R. et P.).
 - o Evaluar la composición nutricional de la materia prima izaño, también ácido ascórbico (Vitamina C) y pH.
 - o Evaluar la composición nutricional en izaño deshidratado, también ácido ascórbico (Vitamina C) y pH.
 - o Evaluar la composición nutricional en harina extruida de izaño, como también ácido ascórbico (Vitamina C) y pH.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Izaño (*Tropaeolum tuberosum* R. et P.)

2.1.1 Origen.

León (1964) llega a la conclusión de que la mashwa o izaño es probablemente originaria de la zona del Altiplano de Perú y Bolivia. Sin embargo, especies silvestres se encuentran frecuentemente en diversas zonas altas de los valles interandinos. Las referencias de los cronistas señalan al grupo étnico Múiscos del reino Chibcha, en Colombia como pobladores que consumían los cubios (mashwa) así como la chigua (*Ullucus tuberosus*). Incluso se menciona que las especies del género *Tropaeolum* de Colombia se comportan de manera diferente a los de Perú y Bolivia en cuanto a las horas de luz y que se les cultiva a menores alturas, por lo cual Bukasov (1930) sugirió de crear la especie *T. cubio* para diferenciar las especies sabaneras.

La izaño es al parecer originaria de los andes centrales (10-20° Lat. Sur). Es un cultivo de alta sierra, por ello, se le encuentra en Ecuador, Perú y Bolivia. Las colecciones de campo del Perú, mantenidas y evaluadas en Ayacucho, Cajamarca, Huancayo, Cuzco y Puno, sobrepasan las 300 accesiones. Muchas de ellas se mantienen in vitro en el laboratorio de biotecnología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en Lima. (Tapia M. 1997).

EL Izaño (*Tropaeolum tuberosum* R. et P.) es un tubérculo que se encuentra desde Pasto (Colombia), hasta el Sur del Altiplano Boliviano (Lescano, J. 1989). Por las características morfológicas, se ha sugerido dos subcentros de origen: uno en el departamento de Mariño en Colombia y el otro en el Departamento de Ayacucho en Perú. A esta hipótesis, se debe agregar un posible tercer sub centro de origen, la zona de Chile en Chile, en donde se han encontrado especies silvestres y que son consumidos por los aborígenes de la zona. (Lescano 1989).

2.1.2. Descripción Botánica, Variedades.

León, J. (1964). La planta es inicialmente erecta, aunque a la madurez es semi postrada. La forma de la hoja es ovalada; la cara superior es verde mate y la cara inferior de un verde claro. Puede ser de tres, cuatro o cinco lóbulos. Las flores solitarias nacen en las axilas de las hojas. Los tubérculos tienen yemas alargadas y profundas, son de forma cónica o elipsoidal. La mashwa, a diferencia de la oca y del olluco, tiende a formar gran cantidad de semillas viables. Según su coloración se pueden clasificar en:

- Tubérculos de color uniforme generalmente blanco, amarillo o anaranjado;
- Tubérculos con pigmentos de antocianina ubicados sólo en las yemas;
- Tubérculos muy coloreados en las yemas con antocianinas;
- Tubérculos con yemas pigmentadas y con franjas longitudinales rojas o moradas.

León, J. (1964). Se describen dos variaciones dentro de la misma especie:

- *T. tuberosum* var. *Pilifer*, de tubérculos blancos, delgados, de ápice violáceo y ojos o yemas provistos de pelos delgados, procedentes de Colombia.
- *T. tuberosum* var. *Lineomaculata*, de tubérculos profusamente manchados de líneas coloreadas, cultivados sobre todo en Perú y Bolivia.



Fuente: Variedades de mashwa o izaño (León, J. (1964).

Es una planta herbácea, de tallos cilíndricos y hábitos rastreros como el mastuerzo, tiene crecimiento erecto cuando es tierna y de tallos postrados con follaje compacto cuando madura. Esto le permite competir ventajosamente con las malas hierbas (Tapia M. 1997).

Las hojas son alternas, de 3-5 lóbulos, con nervaduras pronunciadas.

Las flores son solitarias de diferentes colores que van de anaranjadas o rojizas, el número de estambres es variable puede ser de 8-13. El tiempo de duración de la flor abierta varía entre 9 a 15 días. El fruto es esquizocarpo, el cual produce abundante semilla botánica. Generalmente al igual que en otros tubérculos andinos ocurre el fenómeno de la fasciación (Tapia M. 1997).

Los tubérculos, son parecidos a la oca pero se les diferencia porque tienen forma cónica alargada, de yemas profundas, son de color variado: gris, blanco, amarillo, rojizo, morado y negro, generalmente con jaspes oscuros, rayas o pintas cortas, moradas o púrpuras, y mayor concentración de yemas en la parte distal. El tubérculo es arenoso y posee un sabor fuerte que lo hace menos apetecible que la oca (Tapia M. 1997).

2.1.3. Clasificación taxonómica del izaño.

La posición sistemática que ocupa el izaño es la siguiente (Ospina, J. 1995):

- Reino : Vegetal.
- Clase : Angiospermeae.
- Sub clase : Dicotiledóneae.
- Orden : Geraniales.
- Familia : Tropaeolaceae.
- Género : Tropaeolum
- Especie : tuberosum R. et P.
- Nombre Científico : *Tropaeolum tuberosum* R. et P.
- Nombres comunes : "izaño", "mashwa", "izaño", "añu", "mascho", "maswallo".

2.1.4 Características agronómicas.

Mayor adaptación entre 3500-4100 m.s.n.m. Se cultiva en la actualidad desde Venezuela hasta Bolivia. La mayor concentración se encuentra en las zonas agroecológicas Suni y Puna baja, del Perú y Bolivia, donde generalmente se cultiva en mezcla con otros tubérculos. Es una especie de fotoperíodo de días cortos 10-12 horas de luz para tuberizar, el período vegetativo es de 175-245 días (6-8 meses). Es tolerante a bajas temperaturas y al ataque de insectos y plagas. La izaño es muy rústica por ello puede cultivarse en suelos pobres, sin uso de fertilizantes y pesticidas, aún en estas condiciones, su rendimiento puede duplicar al de la papa. La asociación con olluco, oca y papas nativas se explicaría por los principios de control nematocida e insecticida que posee la planta. Requiere de suelos sueltos, de pH ligeramente ácido entre 5-6, aunque también se desarrolla entre pH 5.3-7.5 (Tapia M. 1997).

2.1.5 Características fisiológicas del cultivo de izaño

- Los brotes que emergen a la superficie del suelo tienen una ligera pigmentación de color violáceo en el envés de la hoja.
- Los estolones aparecen de la raíz principal, cuando la planta alcanza de 15 – 20 cm de altura; esta fase se cumple cuando los estolones tienen 3 a 5 cm. de longitud.
- La tuberización se inicia con un pequeño abultamiento ligeramente alargado en el extremo terminal de los estolones.
- La formación de botón floral, en forma de espolón inserto perpendicularmente a los pecíolos de pigmentación interna inician a formarse cuando el índice del área foliar es máximo.
- La primera floración ocurre aproximadamente a los 148 días de la siembra y coincide con el máximo número de estolones en el suelo.
- La forma del tubérculo izaño es cónica-elipsoidal, con yemas “ojos” profundos, tendencia apical, tiene un color manchado y puntas moradas.
- La madurez fisiológica ocurre cuando los primeros tubérculos de izaño alcanzan su máximo desarrollo, observándose que las hojas inician a cambiar de color

hasta amarillo pálido en un 80 % del área floral de la planta y se inicia la caída de los mismos.

- En general el periodo vegetativo del izaño depende del ecotipo. Así los ecotipos precoces requieren de 155 a 180 días y los ecotipos tardíos 220 a 245 días. Se diferencia cuatro etapas de crecimiento: Emergencia, floración, tuberización y maduración. (Ospina, 1995).
- La cosecha se realiza cinco o seis meses después de la siembra dependiendo del ecotipo. Su rendimiento oscila entre 4000 hasta 12000 Kg / Ha., aunque en condiciones experimentales se han obtenido 70000 Kg / Ha. Por su alto rendimiento y resistencia a enfermedades, puede ser la alternativa en la producción de harinas para los países andinos. citado por (Inchuanaco 2003).

2.1.6 Producción de izaño en el departamento de Puno.

Según las informaciones adquiridas de Ministerio de Agricultura, la producción de Izaño a nivel nacional en Miles de Toneladas Métricas se muestra en el Cuadro N° 01.

Cuadro N° 01: Producción de izaño en Miles de Toneladas Métricas.

Años	Miles de Toneladas Métricas
2000	35.38
2001	35.58
2002	36.41
2003	38.08
2004	35.49
2005	33.58
2006	32.15
2007	30.45
2008	28.99
2009	32.9

FUENTE: Boletín Agrario de Ministerio de Agricultura – Puno (2010).

2.1.7 Almacenamiento de Tubérculos.

Se han identificado y descrito sistemas de almacenamiento tradicional en oca, olluco y izaño; estos son:

Después de 120 días de almacenamiento, se han identificado los factores que intervienen en las pérdidas en izaño: En izaño: Por verdeamiento y pudrición, estos son más acentuados que en la oca. En oca, olluco y izaño el mayor porcentaje de deshidratación se registra entre los 30 a 60 días de almacenamiento y la brotación después de 60 días, el método que menor pérdida ocasiona es el de recipiente y en zanahoria blanca, el de fosa . (Salas D. S. 1998).

Cuadro N° 02. Almacenamiento tradicional en oca, olluco y izaño.

Ecuador	Perú
Tradicional: Amontonar las raíces en el rincón de un cuarto sobre un cama de paja seca o eucalipto sobre el piso de tierra, en cuartos comunes sin luz y sin ventilación.	
Fosa: excavaciones cercanas a la casa de aprox. 1m. de diámetro y 0.5m de profundidad; antes de depositar los productos, el interior se cubre de paja seca y estos son cubiertos también con paja.	Phina: Almacén acondicionado con: piedra, adobe, paja y muña, para volúmenes pequeños (se acondicionan varias phinas, unas a continuación de otras).
Recipientes: que son cubiertos con lona y colocados en cuartos oscuros.	Rincón de Habitación: Los productos se amontonan en partes oscuras de la habitación, formando una ruma, entre muña y paja o en sacos.
Capa: Rejilla de madera cubierta con paja; sobre esta se colocan los productos que posteriormente son colocados en un cuarto oscuro.	Lumi Pilwa: (Trojas de piedra): parecida a las “kolkas” circulares del incanato, de 1 m. de alto por 1 ó 3 m de diámetro; los tubérculos se almacenan en el interior sobre una cama de piedra o roca maciza, paja mezclada con muña y eucalipto. El techo se cubre con barro y paja. No se le deja ninguna ventana ni puerta.

Fuente: Avances en la Investigación en Posproducción de alimentos andinos en el marco de CONDESAN. Salas D. S. (1998).

Según estudios realizados por Salas D. S. (1998). En Perú – Huancayo. Se mejoró el sistema tradicional de almacenamiento y se logró la reducción de pérdidas.

- 57% a 28% en oca
- 36% a 10% en olluco
- 48% a 31% en izaño

Según estudios realizados por Salas D. S. (1998). Las zonas en donde se efectuaron las pruebas de almacenamiento fueron Huancayo (Concepción), Jauja (3,500 msnm).
Tiempos de Almacenamiento:

- Oca : 5 meses
- Olluco y Izaño : 6 meses
- Temperatura promedio de almacén: (9 - 12)°C
- Temperatura ambiental: Máxima (22 - 25)°C - Mínima (1 - 5)°C

2.1.8 Formas de Utilización.

A pesar de su sabor amargo, su utilización es variada para la alimentación, como medicina y como planta ornamental. La izaño tiene importancia para satisfacer la alimentación de los habitantes de menores recursos en zonas rurales marginales en los Andes altos. Se prepara en forma de sancochado, asado o como thayacha, que consiste en exponer los tubérculos por una noche a los efectos de la helada. Al día siguiente se comen, acompañados de miel de chancaca (caña). En la alimentación humana se le utiliza para sopas, mermeladas, etc.; en la industria para producir antibióticos, se le atribuye propiedades curativas del hígado y riñones entre otros. A los tubérculos se les atribuye propiedades anafrodisiacas, se narra que los incas, la incluían en la alimentación de sus soldados. Hoy se sabe que los niveles de testosterona se reducen significativamente en ratas machos alimentados con izaño. (Tapia M. 1997).

Los tubérculos de Izaño se consumen en sopas, cocinado o frito, se acostumbra preparar como thayacha, que consiste en exponer el Izaño por una noche a los efectos de la helada y al siguiente día se consume acompañados de miel o caña. (Ospina, 1995).

También se ha encontrado reportes de la Universidad Nacional Agraria la Molina 1998 (no publicados), que con el extracto de izaño también se puede aplicar en control de pudriciones de post cosecha de plátano y almendras.

La elaboración de harinas se hace a partir de los tubérculos deshidratados, como la harina de chuño. También menciona la sustitución de harina de trigo por harina andina, conformado por una mezcla en partes iguales de harina de quinua, cañihua, tarhui, oca. (Lescano, R. 1994).

2.1.9 Valor nutritivo de los tubérculos andinos.

El potencial nutritivo del tubérculo izaño está basado en su contenido de proteínas, que según estudios realizados parece ser una buena fuente de aminoácidos, con excepción de valina y triptófano (Lescano, 1989).

Cuadro N° 03: Composición química de izaño valores sobre materia seca.

Composición	U.M.	Valor Nutricional
Energía	Kcal	50
Agua	g	87.4
Proteína	g	1.5
Grasa	g	0.7
Carbohidratos	g	9.8
Fibra	g	0.9
Ceniza	g	0.6
Calcio	mg	12
Fosforo	mg	29
Hierro	mg	1.0
Retinol	mcg	12
Tiamina	mg	0.10
Riboflavina	mg	0.12
Niacina	mg	0.67
Acido ascórbico	mg	77.5

Fuente: Tablas Peruanas de Composición de alimentos (Collazos 1996)

En el Cuadro N° 05 se puede apreciar los rangos de variabilidad nutricional de tubérculo izaño. Aun estos resultados no son definitivos puesto que comparando con otros análisis hechos en el Perú, se encuentra muchas diferencias principalmente en el contenido de proteínas y carbohidratos. (Morales, V. D. 1988).

El izaño tiene un contenido alto de almidón, un balance apropiado de aminoácidos esenciales y es rico en vitaminas C y B. Su valor nutritivo supera el de algunos cereales y de la papa. Además tiene propiedades medicinales, se recomienda el consumo de izaño a personas con problemas renales y hepáticas.

La izaño, amarillo con naranja y amarillo se caracterizan por su alto contenido de materia seca, individualmente se destacan las líneas ECU-1091 (19.70%) y ECU-8766 (19.11%) respectivamente.

Cuadro N° 04: Composición de aminoácidos en el tubérculo izaño (mg de aa/g de proteína).

Aminoácidos	miligramo
Lisina	38.0
Treonina	23.0
Valina	35.1
Isoleucina	31.0
Leucina	41.5
Tirosina	25.5
Triptofano	5.0
Cisteína	13.5

Fuente: Morales, V. D. 1988 "Los tubérculos Andinos"

2.1.10 Procesamiento.

Salas D. S. (1998). Los valores extremos encontrados (rango) para el contenido de la materia seca, energía proteína, almidón azúcares totales y reductores de cada una de las especies estudiadas se muestran en el Cuadro N° 05.

Salas D. S. (1998). En **Bolivia** a nivel experimental se ha obtenido harina de oca, papalisa, izaño, arracacha, ajipa, yacón, achira, gualuza y mauk'a. Los rendimientos obtenidos fueron: Papa 6:1; Oca 6:1; Papalisa 8:1; Izaño 9:1; Arracacha 5:1; Ajipa 5:1; Yacón 15:1; Achira 5:1; Gualuza 4:1; Mauka 3:1. La composición química de las harinas obtenidas se muestra en el Cuadro N° 06.

Cuadro N° 05. Composición Química de las Raíces y Tubérculos Andinos.

Composición	U.M.	Oca	Izaño
Materia Seca	%	13.14 – 27.64	7.20 – 19.70
Energía	Kcal	3.96	4.41
Proteína	%	3.39 – 5.49	7.22 – 13.99
Almidón	%	28.28 – 45.83	20.01 – 79.46
Azúcares totales	%	4.27 – 14.27	6.77 – 55.23
Azúcares Reductores	%	2.16 – 12.72	6.41 – 45.29

Fuente: Avances en la Investigación en Posproducción de alimentos andinos en el marco de CONDESAN. Salas D. S. (1998).

Cuadro 06: Composición Química/Harinas Obtenidas de las RTA's en 100 g. de Materia Seca.

Componente	U.M.	Oca	Izaño	Papalisa
Humedad	g	8.3	9.80	9.20
Cenizas	g	3.3	3.67	4.27
Grasa Cruda	g	0.59	0.89	1.40
Proteína Cruda	g	5.39	8.59	10.17
Fibra alimentaria	g	8.26	15.43	18.08
Total	g	70.43	49.77	49.02
Almidón	g	7.03	9.94	2.79
Sacarosa	g	2.61	7.75	8.79
Glucosa	g	2.97	7.10	9.93
Fructuosa	Kcal	407	416	421
Valor Energético				

Fuente: Avances en la Investigación en Posproducción de alimentos andinos en el marco de CONDESAN. Salas D. S. (1998).

En estos experimentos antes mencionados por Salas D. S. (1998). Para el procesamiento se habilitó una unidad experimental constituida por: secador convencional a gas licuado, balanza, molino a martillos, selladoras de bolsas de plástico, procesadora de alimentos, cocina a gas, ollas de aluminio y accesorios de cocina. El secador empleado es del tipo de bandejas con calentamiento indirecto por llama de gas licuado que usa un intercambiador de tubos. La velocidad promedio del aire en la cámara de secado es de 2 m/s (2 horas a 40°C y 6 horas a 60°C). Las operaciones básicas en la producción de harina han sido:

1. Selección
2. Lavado
3. Pelado y rectificado
4. Rodajado: espesor de 2 mm
5. Escaldado o blanqueado: baño de agua hirviendo (92° C).
6. Secado: con cargas de 4.5 - 5 kg/bandeja, durante 8 horas hasta una humedad residual inferior a 10%.
7. Molienda
8. Pesado y embolsado

FAO (2002). Algunos de los procesos de transformación tienen el objetivo de provocar cambios en la composición de nutrientes: un ejemplo es el soleado de ocas y mashwas (añu, izaño), lo que induce la transformación de parte de los almidones en azúcares; el tocosh es otro ejemplo donde se obtienen sustancias antibacterianas.

2.1.11 Soleado del Izaño (*Tropaeolum tuberosum R.et P.*)

El izaño debe ser soleado, exponiendo los tubérculos al sol durante 12 días, para mejorar el sabor. Del producto soleado se elimina las puntas y secciones de corteza deteriorada; posteriormente se cortan en trozos de 3 cm de largo por 1 cm de ancho. Estas dimensiones corresponden a formas cuadradas de 1.5 cm x 1.5 cm y 1 cm de espesor. (Roberfroid M. B. 1996)

2.1.11.1 Proceso de soleado.

Según Soto (2000). Existen tres técnicas de soleado:

- La Tradicional, que consiste en dejar en el techo de una casa durante tres o cuatro semanas.
- Utilización de un secador solar de madera cubierto con cuatro paneles de vidrio transparente, con dos puertas laterales regulables y dos ventanas laterales de malla.
- Utilización de silo verdeador de la papa.

En esta fase, evalúan los siguientes parámetros: Pérdida de peso, Materia seca, Acidez titulable (mg/100g), Azúcares totales, almidón total, análisis sensorial y evaluación visual de daños físicos.

2.1.12 Los compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos que cumplen funciones farmacológicas antisépticas, diuréticas y desinfectantes han sido identificados como los más relevantes dentro del melloco, oca, zanahoria blanca, jícama y izaño (Salas D. S. 1998).

Se consumen las hojas y las flores pero principalmente los tubérculos, los cuales tienen altos niveles de proteína, carbohidratos, ácido ascórbico, vitaminas B1 y B2, fibra, glucosinolatos y compuestos antioxidantes (NRC, 1989). El conocimiento tradicional le atribuye propiedades depresoras sobre el lípido. El contenido de antocianinas y compuestos fenólicos de la izaño es muy alto, sobre todo en los cultivares de pulpa púrpura o morada. La actividad antioxidante de la izaño es entre 2 y 5 veces más alta que la del blueberry o arándanos (*Vaccinium stamineum*). Los glucosinolatos se encuentran en una cantidad elevada en los tubérculos deshidratados (1 a 19mmol/g) pero en menor cantidad que en los hipocotilos de la maca. Algunos extractos de izaño, ricos en isotiocianatos, han mostrado actividad anticancerígena sobre células cancerosas experimentales de colon y la próstata (Norato *et al.*, 2004). Recientemente,

investigadores del King's College, London, han anunciado que un tipo de glucosinolato, obtenido del brócoli, tiene propiedades inhibitorias sobre la acetilcolinesterasa, la enzima clave involucrada en la enfermedad del Alzheimer; también se han reportado efecto antibiótico contra la bacteria *Helicobacter pylori*, involucrada en las úlceras gástricas y el cáncer de colon.

2.1.13 Vitaminas en el izaño.

Algunas variedades de mashwa o izaño pueden contener apreciables cantidades de carotenos (vitamina A) y su contenido de vitamina C (77 mg en 100 g de materia fresca comestible) es casi cuatro veces la cantidad de esta vitamina encontrada en la papa. La mashwa es además interesante por su aporte en nutrientes funcionales. Diversos investigadores se han interesado en los glucosinolatos que tienen efectos beneficiosos sobre el sistema inmunológico (podrían proteger contra el cáncer) y pueden tener efectos perjudiciales sobre el sistema nervioso cuando se consumen grandes cantidades (Ramallo, 2004). El mismo autor ha encontrado que su contenido es especialmente alto en algunas variedades de tubérculos oscuros, lo que con un consumo moderado puede resultar favorable para la salud.

Pirone B.N. *et al* (2005). Los frutos de la rosa mosqueta poseen alto contenido de ácido ascórbico. Este nutriente sufre degradación durante los procesos de deshidratación con aire previamente calefaccionado. En este trabajo, se caracterizan químicamente los mencionados frutos y se estudia la degradación del ácido ascórbico en función de la temperatura de deshidratación. Los resultados obtenidos permiten indicar que efectivamente ocurre degradación del nutriente estudiado, que los mecanismos de la degradación siguen diferentes caminos según la temperatura analizada y que el contenido residual final es prácticamente independiente de la temperatura utilizada. Con los resultados obtenidos se calcularon los parámetros de la cinética de degradación. Asimismo, y a pesar de la degradación existente, el contenido residual de ácido ascórbico es relativamente alto si se compara con otras frutas de alto contenido del nutriente. Esta vitamina es muy sensible a diversas formas de degradación. Entre los numerosos factores que pueden influir en los mecanismos degradativos se pueden citar

la temperatura, la concentración de sal y azúcar, el pH, el oxígeno, las enzimas, los catalizadores metálicos, la concentración inicial de ácido y la relación ácido ascórbico – ácido dihidroascórbico (su forma oxidada). Todos estos factores están relacionados con las técnicas de proceso y con la composición del producto que se procese. En el caso de los frutos de la rosa mosqueta, por su contenido de azúcares, su pH y la presencia de enzimas, es de esperar la degradación de Vitamina C.

2.2 Secado.

Los términos secado o deshidratado tienden a usarse como sinónimos, pero el primero se emplea cuando el secado se realiza mediante agentes naturales tales como el sol o la atmósfera, mientras que el último se utiliza cuando se emplea métodos mecánicos. (Holdsworth, 1988).

La disminución de la humedad de los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados para su conservación. Al reducir el contenido de agua de un alimento hasta un nivel muy bajo se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y se reducen apreciablemente las velocidades de otros mecanismos de deterioro. Además del efecto conservante, mediante la deshidratación se reduce el peso y el volumen del alimento, aumentando la eficacia de los procesos de transporte y almacenaje. También, la deshidratación de un alimento produce a menudo otro más apto para el consumo. (Paul, S. 1998)

Cuando se hace pasar aire caliente a través de un lecho de alimentos granulados húmedos tiende a secar paulatinamente. El calor de vaporización necesario para secar el producto proviene sólo del aire seco; es decir, no existe transmisión de calor por conducción a radiación desde los alrededores del secador. Conforme el aire pasa a través de la masa granulada, una gran parte del calor sensible del aire se convierte en calor latente, y por tanto más agua pasa al aire en estado vapor. (Paul, S. 1998)

El proceso de secado solar puede ser tipificado como directo o indirecto. En el primer caso los rayos solares inciden directamente sobre el producto incrementando su

temperatura y creando condiciones necesarias para el secado. En el segundo caso la energía solar radiante es transformada en energía térmica para calentar el aire y luego dirigirlo hacia el producto a secar, produciendo el secado al cabo de algún tiempo. (Holdsworth, 1988).

El secado o deshidratación de los alimentos se usa como técnica para preservación ya que los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua; así como también causan los cambios químicos, como los principales responsables del pardeamiento no enzimático son la degradación térmica de los azúcares y la reacción térmica entre azúcares y aminoácidos (Jean, A. 1990). Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10 % en peso. Sin embargo es necesario reducir este contenido de humedad a 5 % en peso de los alimentos, para preservar el sabor y su valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastante largos. (Geankoplis, 1982).

Cuando se elimina totalmente el contenido de humedad de un alimento puede ocurrir una oxidación. Los alimentos para ser estables tienen que tener un contenido de humedad mínimo que permita proteger a los mismos. (Núñez, 1991).

2.2.1 Sistemas de deshidratación

En base a la influencia de la transferencia de materia, el sistema de deshidratación más eficaz es aquel que mantenga los máximos valores posibles de los gradientes de presión de vapor y de temperatura entre el aire y el interior del producto a deshidratar. Estas condiciones junto con altos valores de los coeficientes de convección en la superficie del producto pueden mantenerse en varios diseños diferentes; a continuación se mencionan, varios sistemas utilizados en deshidratación de alimentos. (Holdsworth, 1988) y (Paúl, 1998).

- Secaderos de bandejas o de armario.
- Secadores de túnel.

- Secado por explosión.
- Secaderos de lecho fluidizado.
- Secado por atomización.
- Secado por congelación.
- Secadores de cinta transportadora.
- Secadores a vacío
- Secadores neumáticos.
- Esponjado por explosión.
- Secadores de tambor.
- Deshidratación en espuma.
- Liofilización

2.2.2. Procesos básicos del secado.

Para eliminar la humedad de un alimento de manera eficaz deben tenerse en cuenta los diversos procesos y mecanismos que tienen lugar en el producto, así como actividad del agua del producto, la humedad del producto, curvas de velocidad del secado y transferencia de materia. Estos procesos y mecanismos tienen particular importancia, en los que la retirada del agua del producto puede modificar su estructura. (Paul, S. 1998) Los métodos y procesos pueden dividirse por lotes cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo de tiempo, o continuos, donde el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen continuo. (Geankoplis 1982).

2.2.2.1. Actividad del agua

En los productos alimenticios el agua se presenta en distintos estados:

- Agua libre o solvente, que conserva las propiedades del agua pura.
- Agua capilar y agua adsorbida en la superficie constituye formas intermedias, medianamente activas.
- Agua de constitución, íntimamente unida a los otros compuestos bioquímicos de los que no se puede separarse más que por técnicas severas. Esta agua ha perdido

sus propiedades y no ejerce presión de vapor. Bajo el punto de vista químico y biológico, el concepto esencial de la actividad del agua, corresponde a su disponibilidad para intervenir en reacciones de cualquier tipo. Por regla general, las reacciones químicas tienen lugar a actividades de agua bajas, de 0,2% a 0,4%; las reacciones enzimáticas comienzan a niveles del orden de 0,4% ó 0,5%; la proliferación de levaduras y mohos a 0,7 % y la de las bacterias a partir de 0,9%. (Jean, A. y Regine, 1990).

La actividad del agua es un parámetro más importante en la deshidratación de alimentos. Es la condición de equilibrio que determina el límite del proceso de secado. Aunque este parámetro (actividad de agua) es una parte importante del gradiente que provoca el movimiento del agua, la actividad de ésta se ha convertido en un factor determinante en el estudio de la estabilidad de los alimentos secos.

Por definición, la actividad del agua es la humedad relativa de equilibrio dividida por 100. La humedad de equilibrio es el límite inferior del gradiente para la eliminación de agua del producto, que junto con la actividad del agua determina la estabilidad del producto almacenado. Como era de prever, mayores temperaturas implican menores humedades de equilibrio y mayores gradientes de humedad para el flujo de agua. (Holdsworth, 1988).

Los microorganismos necesitan agua para crecer así como substratos; por esto es más conveniente y científicamente más exacto definir el agua presente en un producto como “actividad de agua”.

Para deshidratar un alimento se relaciona entre la presión parcial del vapor de agua sobre una solución en relación con aquella como solvente (agua). El agua pura tiene una actividad de agua de 1,00 y la mayoría de los alimentos se alteran rápidamente por encima de 0,8 (Núñez, 1991).

2.2.2.2. Difusión de la humedad

El agua se elimina de los alimentos mediante su difusión, en fase líquida y/o vapor, a través de su estructura interior. Al movimiento del agua líquida le seguirá su evaporación en algún punto en el interior del alimento, pudiendo estudiarse el flujo difusional como si fuera difusión molecular.

El flujo de agua es una función del gradiente de la presión del vapor, de la difusividad del vapor en el aire, de la distancia a recorrer y de la temperatura. Además, dado que para evaporar el agua es necesario el calor, el proceso supone realmente un transporte simultáneo de materia y calor. (Clair, J. y Esteven, 1987).

La eliminación de la humedad del producto dependerá, en parte, de la transferencia de materia por convección hacia la superficie del producto. Aunque este proceso puede no ser el limitante de la velocidad, no debe olvidarse la importancia de mantener las condiciones límite óptimas para el transporte de la humedad. (Paul, S. 1998).

2.2.2.3. Transferencia de materia y calor

La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. (Geankoplis 1982).

Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor generado se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie del producto. (Holdsworth, 1988).

El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie del producto. (Cheftel, 1987).

Estos flujos de materia y calor en el interior del alimento tienen lugar a escala molecular:

el calor transmitido depende de la conductividad térmica del alimento mientras que el flujo de agua será proporcional a la difusión molecular del vapor de agua en el aire. (Paul, S. 1998).

El transporte de vapor desde la superficie del alimento al aire exterior es función de la presión de vapor, mientras que la transmisión de calor desde el aire hacia el alimento depende del gradiente de temperatura. (Cheftel, 1987).

La humedad relativa se la define como el cociente entre la presión parcial del vapor de agua (PV) a una temperatura dada y la presión de saturación (PS) a esa misma temperatura. Puede expresarse en forma decimal o porcentual (Clair, J. y Esteven, 1987).

2.2.3 Curvas de velocidad de secado

El secado es un proceso en el cual se elimina la humedad de un producto alimenticio para reforzar su estabilidad, transportabilidad, sabor y textura. Un producto alimenticio húmedo que tiene su superficie expuesta a una corriente de aire a una velocidad, temperatura, presión y humedad relativa especificadas tiende a secarse. (Paúl, 1998).

La velocidad de secado es definida como la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo; mas exactamente por el coeficiente diferencial ($-dx/dt$) operando en condiciones constantes de secado con aire cuyas condiciones (temperatura, densidad, humedad y velocidad) permanezcan constantes con el tiempo (Ocón y Tojo, 1986). La velocidad de ese proceso depende de las características del producto, de sus características higroscópicas, contenido de humedad inicial y el contenido de humedad adecuada para la conservación. También depende de las condiciones de temperatura y flujo de aire a que es sometido el producto (Geankoplis, 1982).

La variación del contenido de humedad del producto (x), con el tiempo (t) se presenta en curvas de secado. Estas curvas se obtienen experimentalmente y son un paso fundamental para comparar los sistemas de secado. La curva de secado se obtiene llevando sobre un diagrama en función del tiempo, el contenido en agua del producto o

bien la velocidad de secado. También se puede representar la velocidad de secado en función al contenido en agua del producto. (Cheftel, 1987).

Analíticamente la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado de acuerdo a la ecuación.

$$W = (L_s/A) \cdot (dx/dt)$$

Donde:

L_s = Peso del sólido seco (Kg).

A = Area de la superficie expuesta (m²).

W = Velocidad de secado (Kg / s).

dx = Cambio del peso del producto (Kg).

dt = Cambio del tiempo de secado (s).

Los datos que se obtienen en un experimento de secado por lotes generalmente se expresan como peso total (w) del sólido húmedo a diferentes tiempos (t en horas) en el periodo del secado (Ocón y Tojo 1986 y Geankoplis, 1982). Estos valores pueden convertirse a datos de velocidad de secado con el siguiente procedimiento:

Primero se recalcula el peso del sólido húmedo (w) en kilogramos totales de agua y el peso del sólido seco (w_s) en Kg.

$$x_t = (w - w_s)/w_s \text{ (Kg totales de agua/Kg de sólido seco)}$$

Donde:

x_t = Humedad del sólido referidos al sólido seco.

w = peso del sólido húmedo.

w_s = peso del sólido seco.

Habiendo establecido las condiciones del secado constante, se determina el contenido de humedad en equilibrio (x^*) (Kg humedad de equilibrio/Kg de sólido seco).

Con esto se procede a calcular el valor de contenido de humedad libre (X) en kilogramos de agua libre/Kg de sólido seco, para cada valor de x_t .

$$x^* = x_t - X$$

Donde: X = humedad libre

x_t = humedad del sólido referidos al sólido seco.

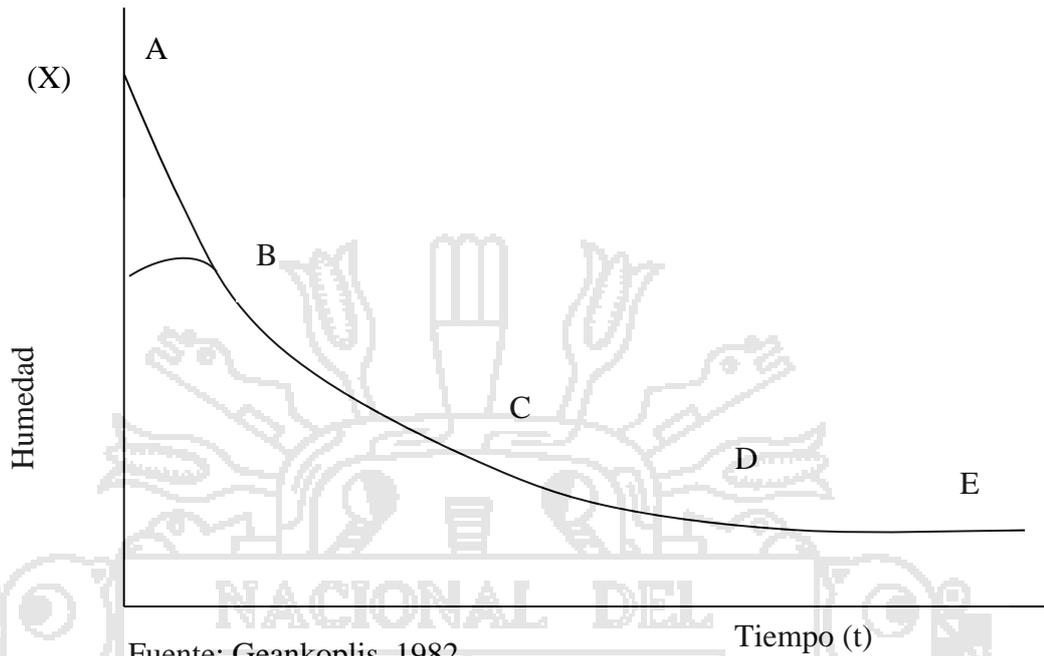
x^* = humedad de equilibrio.

Usando los datos calculados con la ecuación anterior, se traza una gráfica del contenido de humedad libre (X) en función del tiempo (t) como se muestra en la Grafico N° 01. Para obtener una curva de velocidad de secado a partir de esa gráfica se miden las pendientes de las tangentes de la curva la cual proporciona valores de dx/dt para ciertos valores de (t), se calcula entonces la velocidad (W) para cada punto con la expresión. (Geankoplis, 1982).

$$W = (Ls/A). (dx/dt)$$

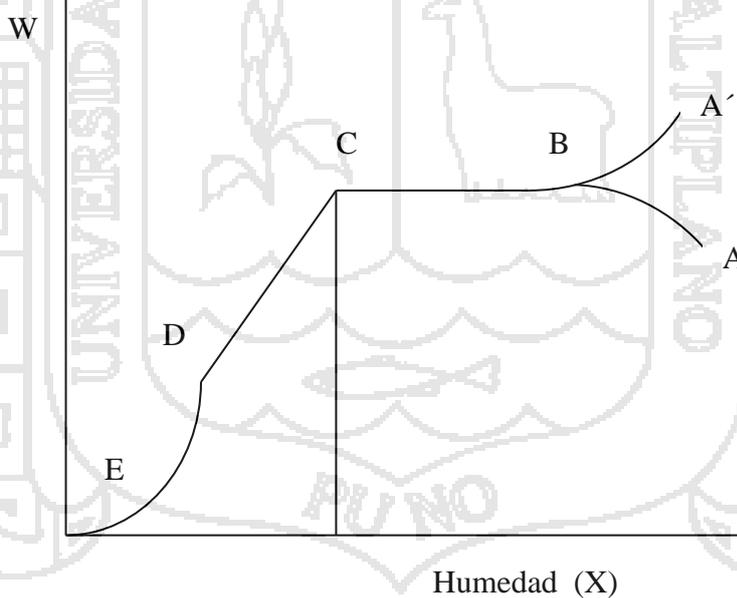
Por consiguiente la curva de velocidad de secado se obtiene graficando W en función del contenido de humedad tal como se aprecia en la Grafico N° 02. Para el estudio de fenómenos de secado deben mantenerse constantes las magnitudes que tienen influencia tales como: temperatura, humedad y velocidad del aire que se desplaza sobre la sustancia con respecto a la del producto para que el estado del aire no se vea influenciado por el calor cedido al producto y la humedad que ha absorbido. (Paúl, 1998).

Grafico N° 01: Curva de variación de humedad en función al tiempo.



Fuente: Geankoplis, 1982

Grafico N° 02: Curva típica de velocidad de secado



Fuente: Paul, 1998

El estudio de las curvas del ciclo de deshidratación está constituido por diversas fases como se observa en la Grafico N° 02 y se describen a continuación:

Fase (A – B). Es la etapa inicial o “periodo de estabilización” las condiciones de la

superficie del sólido se equilibran con las del aire de secado. Esta fase constituye una proporción despreciable del ciclo total de secado pero en algunos casos puede ser significativo. (Geankoplis, 1982)

Fase (B - C). Esta fase de secado se conoce como periodo de “velocidad constante” y durante el mismo la superficie del sólido se mantiene saturada de agua líquida debido a que el movimiento del agua desde el interior del sólido a la superficie ocurre a la misma velocidad que la de evaporación en la superficie. Durante esta fase la velocidad de deshidratación es dependiente de la velocidad de transferencia de calor a la superficie del secado. (Cheftel, 1987).

Fase (C -D). En el secado se alcanza un punto en el que la velocidad de movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce en grado tal que la superficie comienza a secarse; en dicho punto C la velocidad de secado comienza a descender iniciándose el periodo de velocidad decreciente. El contenido en humedad del producto en el punto C se denomina contenido crítico de humedad (X_c). A partir del punto C la temperatura de la superficie comienza a elevarse, elevación que persiste durante el secado hasta aproximarse a la temperatura del bulbo seco del aire cuando el producto se ha secado casi totalmente. (Paúl, 1998).

Frecuentemente el periodo de velocidad decreciente consta de dos partes conocidas como primer y segundo periodo de velocidad decreciente C - E y E - D respectivamente. En el primer periodo de la velocidad decreciente, la superficie se seca y disminuye la velocidad de secado. Al alcanzar el punto E el plano de evaporación se desplaza penetrando hacia el interior del sólido y la velocidad de secado decae aun más.

En los periodos de velocidad decreciente la velocidad de secado está influenciada principalmente por la velocidad de movimiento de la humedad dentro del sólido, reduciendo los efectos de los factores externos, en especial la velocidad del aire sobre todo en la última etapa. Normalmente los periodos de velocidad decreciente constituye la mayor proporción del tiempo total de secado. (Clair, 1987).

2.4 Extrusión.

El proceso de cocción – extrusión de alimentos es la técnica que consiste en someter a un producto o a una mezcla, más o menos hidratada, a un calentamiento bajo presión haciéndole pasar a través de un tornillo de Arquímedes situado en un cilindro caliente, y terminado en una hilera con características función del objetivo deseado (Jean, A. Y Regine, 1990).

La extrusión con bajos niveles de humedad, o extrusión seca, ha sido utilizada durante muchos años por la industria de piensos. Aunque sus aplicaciones han estado limitadas principalmente a la extrusión de ingredientes tales como la soja integral, la extrusión de dietas completas (sin granulación) ha sido también empleada (Hancock, 1992).

Las extrusionadoras tienen elementos comunes en diseño y función pero no todas son iguales, al existir diferencias que tienen efectos importantes sobre las características del producto final. Las extrusionadoras pueden ser groseramente clasificadas como húmedas o secas y como simples o de doble hélice. La extrusión seca emplea niveles de humedad por debajo del 20%. (Rokey G. 1995).

La tecnología de la extrusión se destaca en la industria de alimentos como un proceso eficiente, utilizándose en el procesamiento de cereales y proteínas, para alimentación humana y animal. Inicialmente esta tecnología se desarrolló para el transporte y formado de materiales, tales como masas y pastas. Actualmente se

dispone de diseños muy sofisticados desarrollados en las últimas décadas. Una característica importante del proceso de extrusión es que es continuo, y que opera en un estado de equilibrio dinámico estacionario, donde las variables de entrada están equilibradas con la de salidas. La cocción por extrusión ha ganado popularidad debido a distintas razones entre las cuales se puede mencionar: (Kokini, *et al* 1992 a).

- Versatilidad: Se pueden elaborar una amplia gama de productos, mediante la combinación de distintos ingredientes y condiciones operativas, que difícilmente puedan generarse por otros procesos.
- Realiza simultáneamente operaciones de mezclado, cocción, texturización y secado parcial, requiere de poca mano de obra y espacio para su instalación.
- Eficiente utilización de la energía, ya que el sistema opera a una humedad relativamente baja, al mismo tiempo que el producto se cocina. La baja humedad reduce la cantidad de calor requerido para cocinar y para deshidratar el producto después de la cocción. El consumo de energía es del orden de 0,02 a 0,1 KW/h*kg de producto.
- Desarrollo de múltiples características texturales.
- Alta calidad nutricional del producto: ya que es un proceso de alta temperatura y corto tiempo (HTST) que evita daños innecesarios en componentes sensibles como aminoácidos (AA) y permite la inactivación de ciertos factores antinutricionales y así aumenta la digestibilidad de proteínas.
- Ambientalmente favorable: el proceso se lleva a cabo a baja humedad, no generan efluentes que deban ser tratados.

2.4.1 El Proceso de Extrusión.

La extrusión puede definirse como un proceso que involucra el transporte de un material, bajo ciertas condiciones controladas, forzándolo a pasar por una boquilla de una dada geometría y con un caudal masivo pre-establecido, durante este transporte se

produce la cocción parcial o total de los componentes de la mezcla (González, *et al* 2002).

La cocción por extrusión es una forma especializada, y única en el procesado de materiales amiláceos debido a que se trata de una cocción a relativamente bajos niveles de humedad, comparado con el horneado convencional o la cocción de masas y pastas.

Los niveles normales de humedad utilizados están en el intervalo de 10-40% y a pesar de estos bajos valores de humedad el material se transforma en un fluido dentro del extrusor. Bajo estas condiciones las características físicas de las materias primas, tales como el tamaño de partícula, la dureza y el grado de plastificación alcanzado durante el proceso de extrusión llegan a ser determinantes para la transformación final del material.

Otra característica de la cocción por extrusión, como ya se dijo, es que resulta ser un proceso HTST pero que además, debido a los esfuerzos de corte que se desarrollan durante el transporte del material en el extrusor, la temperatura se eleva rápidamente (conversión de energía mecánica en calor por flujo viscoso) y así la estructura del material sufre transformaciones profundas en pocos segundos. La masa de partículas (harina de cereales y/o legumbres) más o menos hidratada, es convertida en un fluido de muy alta viscosidad. A medida que ese fluido es transportado, los elevados esfuerzos de corte en combinación con la alta temperatura, transforman a los elementos estructurales del material, es decir a los gránulos de almidón y a las estructuras proteicas. Por ejemplo: en la elaboración de productos expandidos tipo “snack” el almidón no solo pierde la estructura cristalina sino también la mayor parte de la estructura granular desaparece y los componentes del gránulo (moléculas de amilosa y amilopectina), son dispersados en la matriz; en la elaboración de proteína vegetal texturizada (PVT) las partículas proteicas (o cuerpos proteínicos) son dispersadas y las reacciones proteicas desnaturalizadas, alineándose en las corrientes de flujo, de esta manera se facilita la formación de nuevos enlaces entre cadenas (“cross links”), los cuales otorgan al producto la resistencia a la disgregación por hidratación durante la preparación del alimento del que forma parte la (PVT). En la cocción por extrusión de materiales amiláceos, el término “grado de cocción” (GC) implica, no solo la pérdida de la estructura cristalina

(mayor digestibilidad) sino también el grado de destrucción de la estructura granular del almidón (González, et al 2002).

2.4.2 Tipo de Extrusores.

Históricamente se registran los primeros extrusores para alimentos alrededor de 1870 (extrusor a pistón para salchichas y carnes procesadas), pero los extrusores a tornillos comienzan a ser utilizados por la industria alimentaria para elaborar fideos y dar formas a masas de cereales precocidas, entre 1935-1940 (extrusores formadores), luego los extrusores-cocedores aparecen entre 1940-1950 para elaborar “snaks” y harinas precocidas. (González, *et al*, 2002).

Existe una amplia variedad de extrusores los cuales se caracterizan no solo por la complejidad de los diseños, sino también por el grado de sofisticación en los sistemas de control de la operación. Como extremos pueden destacarse, por un lado, los de doble tornillo y por otro los monotornillos particularmente llamados de bajo costo tal como el diseño “Brady” (Harper, 1981).

Los extrusores monotornillos funcionan como una “bomba de fricción”, es decir el material es transportado por el efecto de “arrastre”. El material alojado dentro del canal del tornillo es “empujado” hacia la salida por el frente de los filetes. Ese transporte se produce solamente si la fricción del material/harina o sémola sobre la superficie interna del cañón o cilindro, es suficientemente mayor que la fricción del material sobre la superficie del tornillo. Es decir que el material debe “agarrarse” a la superficie del cilindro para que la superficie del tornillo “resbale” sobre el material y así producir el transporte. Si por alguna razón el material se adhiere a la superficie del tornillo lo suficiente como para hacer “resbalar” el material sobre la superficie del cilindro el transporte se detiene y el material alojado en el canal del tornillo gira solidariamente con él. Este mecanismo se visualiza con el ejemplo de la mano” tomando “a una tuerca que está en un bulón que gira. Si la mano no “toca” la tuerca esta gira junto al bulón y no se desplaza, pero cuando la mano “toca” la tuerca (lo “agarra”), la tuerca se desplaza hacia delante o hacia atrás según sea el sentido de la rosca. Para asegurar que este mecanismo

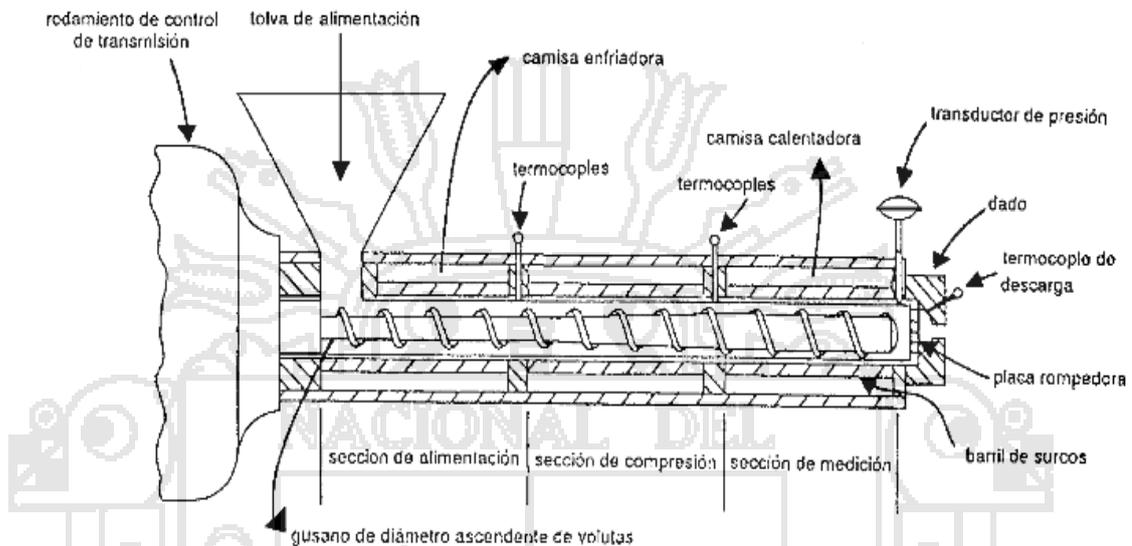
se verifique la superficie del cilindro de los extrusores cocedores llevan estrías (longitudinales o también helicoidales), mientras que la superficie del tornillo esta pulida.

El mecanismo de transporte de los extrusores de doble tornillo es muy diferente. Estos son verdaderas “bombas positivas”. Los filetes de ambos tornillos “solapan” o penetran cada uno dentro del canal del otro. De esta manera el “paso” de cada tornillo es interrumpido por el filete del otro formándose en cada tornillo una sucesión de “cámaras” con forma de “C” con los extremos desplazados, el caudal resultante es el producto del volumen total de cámaras “C” por la velocidad de rotación. Los extrusores de doble tornillo ofrecen ventajas, tales como un mejor control de la operación y una mayor diversidad de productos. Pero los extrusores monotornillo ofrecen todavía buenas alternativas para la cocción de cereales, debido a los menores costos operativos, de inversión y de mantenimiento.

En el extrusor monotornillo y para una operación normal de cocción se pueden encontrar tres secciones: alimentación, compresión y sección de bombeo o “metering”. Los límites de estas zonas no son fijos, sino que dependen del diseño y de las condiciones operativas. El material, que debe poseer una granulometría adecuada y uniforme, y con humedades que varían entre 10 y 35%, entra en la zona de alimentación y es transportado por acción del tornillo, en esta parte puede poseer filetes más profundos para compensar el cambio de volumen que se produce en la zona o sección de compresión, asegurando el caudal másico que sale a través de la boquilla. El flujo sólido se va transformando hasta convertirse en flujo viscoso, mediante el cual la energía mecánica se disipa. Si esa transformación no se produce la operación se reduce al transporte del material y al pasaje a través de la boquilla (González, et al, 2002). En la sección de bombeo o “metering” la masa sufre las transformaciones más importantes, quedando las partículas, que anteriormente formaban la sémola totalmente destruida y sus contenidos integrados en toda la masa. El grado de interacción y de modificación estructural dependerá de las variables de operación. Esta sección asegura un flujo uniforme a través de la boquilla. Cuando la masa la atraviesa, la presión es liberada súbitamente permitiendo que el agua, en estado líquido sobrecalentada, se evapore

instantáneamente (flashing), produciendo la expansión del material y dándole la típica estructura porosa.

Grafico 03: Esquema que muestra las distintas zonas de un extrusor modelo.



CORTE TRANSVERSAL DE UN EXTRUSOR DE ALIMENTOS BÁSICOS DE UN SÓLO GUSANO

Fuente: (González, 1986).

En caso de desear más expansión (con similar grado de cocción o de transformación) la zona de la boquilla debe ser refrigerada para reducir la temperatura y consecuentemente el “flashing”.

El material que es transportado dentro del extrusor puede recibir energía térmica por medio de 3 mecanismos:

1. Transferencia de calor a través de las paredes del cilindro con un fluido calefactor.
2. Aplicación de vapor directamente al interior del cilindro.
3. Disipación de energía mecánica por fricción interna del material.

Los cambios más importantes que ocurren dentro de extrusor, se producen a través del mecanismo de flujo viscoso, que es desarrollado en los tramos finales del tornillo y que permite la suficiente destrucción de la estructura granular del almidón aumentando la

solubilidad en agua de la fracción amilácea y provocando cambios en las propiedades reológicas que aseguran la expansión a la salida.

En algunos diseños los tres mecanismos pueden operar simultáneamente, cuando no se desean transformaciones profundas, es decir grados de cocción moderados, (moderada destrucción de la estructura granular) el tercer mecanismo debe mantenerse en bajos niveles (low shear cooking) mientras que cuando se desean transformaciones profundas, es decir, altos grados de cocción, el tercer mecanismo es el que controla el proceso (high shear cooking). (González, 1988).

El control del proceso es complicado debido a la compleja relación entre la transferencia de energía térmica y la cantidad de movimiento, acopladas con las complejas transformaciones físico-químicas que gobiernan las propiedades del producto. Para el caso de extrusores monotornillo, las variables más importantes para determinar el grado de cocción del material son:

- Humedad.
- Temperatura.
- El diámetro de la boquilla.
- La relación de compresión del tornillo

2.4.3 Principales variables en el proceso de extrusión:

El grado de cocción (GC) se incrementa al aumentar la temperatura y la relación de compresión del tornillo y al disminuir la humedad y el diámetro de la boquilla. Una mayor velocidad de rotación se traduce en un menor tiempo de residencia y por lo tanto un menor grado de cocción pero simultáneamente es mayor el gradiente de velocidad y por lo tanto es mayor la intensidad de los esfuerzos de corte producidos. Dicha intensidad dependerá tanto de las características propias del material (dureza, forma, distribución de las partículas etc.) como del nivel de fricción alcanzado, que a su vez depende de la presión y de la humedad. Es importante destacar que las transformaciones se producen en tiempos cortos y menores al tiempo de residencia medio. Otro aspecto a destacar es que la temperatura es considerada una variable independiente solo en el caso

de la extrusión con control de temperatura desde el exterior, para el caso de extrusores autógenos la misma debe considerarse una respuesta (González, *et al*, 2002). Variables más importantes que intervienen en el proceso de extrusión son: según González, *et al*, 2002.

2.4.3.1 Variables independientes

- Humedad
- Tipo y composición del material
- Intercambio de calor
- Temperatura
- Grado de Alimentación
- RPM

2.4.3.2 Variables independientes del diseño

- Geometría
- Cilindro
- Tornillo
- Boquilla

2.4.3.3 Variables de Respuesta

- Presión
- Temperatura
- Caudal Másico
- E Mecánica
- Distribución de tiempo de Residencia
- Propiedades del Producto

Definidas las condiciones de extrusión (relación de compresión del tornillo, velocidad de rotación, diámetro de la boquilla, nivel de temperatura a controlar (tanto en la zona

del cilindro como de la boquilla), material a extrudir (tamaño de partículas, humedad, etc.), la operación es comenzada alimentando material con una humedad suficiente para evitar una excesiva presión inicial, luego se introduce el material en estudio manteniendo siempre llena a la zona de alimentación del tornillo. La toma de muestras se realiza una vez que se alcanza el estado estacionario, es decir cuando el caudal de salida (Q_s), la presión y el torque (medido sobre el eje del motor), se mantienen constantes. Este caudal de salida, se refiere a la humedad de alimentación (Q_a), habiendo sido previamente determinado el caudal másico de sólido seco (Q_{ss}). (González, et al ,2002).

2.4.4 El Almidón: Principal formador de estructura en la Cocción por Extrusión.

Muchos estudios reconocen que el almidón, como componente predominante en los cereales, juega un rol principal en la expansión, mientras que los otros ingredientes tales como proteínas, azúcares, grasas, y fibras actúan como “diluyentes”, con efectos diversos. (Guy R. 2001), ha propuesto un sistema para clasificar los materiales de acuerdo con su funcionalidad utilizando un enfoque fisicoquímico.

En el almidón se distinguen dos tipos de polímeros: amilosa, esencialmente lineal y amilopectina, altamente ramificada. La amilosa se caracteriza por ser un polímero lineal de α -D-glucosa unidas con enlaces α 1-4, que tiene un peso molecular (PM) promedio aproximado 2,5 10⁵ Da. Mientras la amilopectina que también está compuesta de α -D-glucosa, unida primariamente por enlaces α 1-4; está muy ramificada presentando de un 4 a un 5% de enlaces α 1-6. Este nivel de ramificación produce una longitud de cadena promedio de 20 a 25 unidades de glucosa. La amilopectina tiene un peso molecular (PM) aproximado de 10⁸ Da, y tomado un promedio de cadena de 20 unidades de glucosa resultan un número total de cadenas del orden de 30.000. Estas cadenas son de tres tipos: cadena tipo A, compuesta de glucosa unidas por enlaces α 1-4; cadena tipo B, compuesta de glucosa unidas por enlaces α 1-4 y α 1-6; cadena tipo C, compuesta de glucosa unidas por enlaces α 1-4 y α 1-6, incluido el grupo reductor (Osella, 2000).

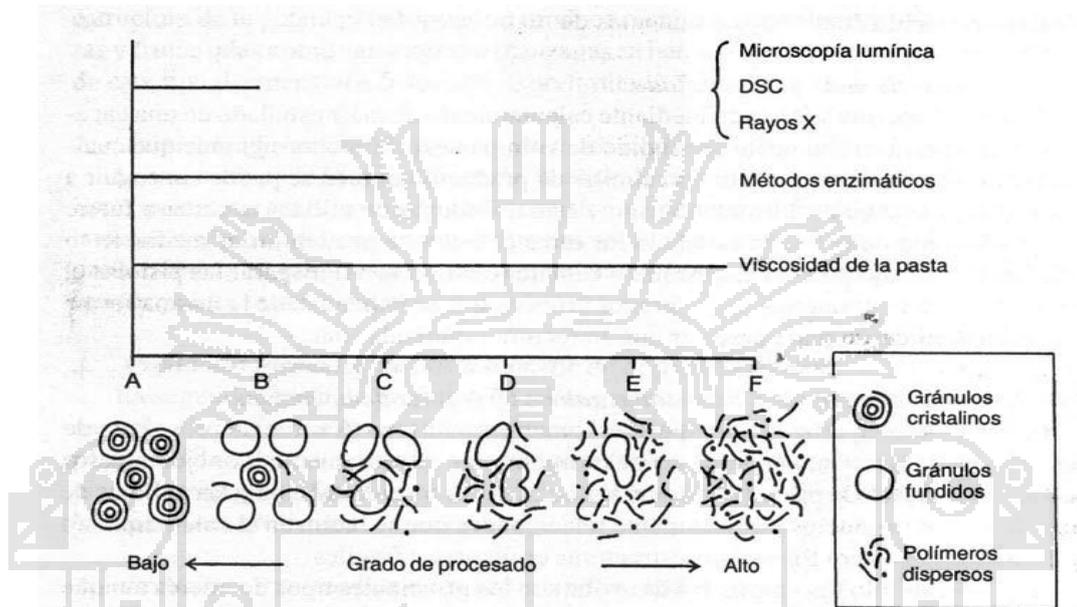
Las cadenas de amilosa y amilopectina se encuentran formando gránulos, cuya morfología y organización supramolecular, está determinada genéticamente. (Jovanovich, 1997). Los gránulos de almidón son parcialmente cristalinos y parcialmente amorfos. El carácter cristalino proviene de la organización de las moléculas de amilopectina dentro del gránulo, mientras que la región amorfa está formada por la amilosa que está distribuida al azar entre los clusters de amilopectina. (Abd Karim, *et al*, 2000). El enlace α 1-4 imparte a la “molécula” un giro natural, con lo que la conformación de las cadenas es helicoidal. El modelo actualmente aceptado para la conformación de la amilopectina es el de “clusters” o racimoso (Zobel, *et al* 1988), que explica la presencia de zonas cristalinas (arreglos de doble hélice) y amorfa (zonas de ramificación densa), con parte de las cadenas lineales de amilosa cocrystalizadas. Otro modelo para la estructura del almidón propuesto por (Blanshard y Bowler, 1987) incluye a la amilosa y al complejo amilosa-lípido, distribuyéndolo en forma radial y paralela a las ramas de amilopectina.

2.4.5 Evaluación de las Propiedades de los Productos Obtenidos por Extrusión.

La base de la producción de cereales precocidos por extrusión, descansan en la transformación del almidón, que permite la expansión y la formación de una nueva estructura que contribuye a la estabilidad del producto.

Los cambios producidos en los materiales amiláceos durante la extrusión han sido extensamente discutidos y la complejidad de las transformaciones producidas puede ser analizada por diferentes métodos de acuerdo a la severidad del tratamiento aplicado como puede observarse en el Grafico 04. De los distintos tipos de productos a base de cereales precocidos por extrusión, se pueden agrupar en dos grandes grupos: Los productos expandidos (para elaborar “snacks”) y harinas precocidas para preparar dispersiones (polenta, papillas y sopas cremas). (Robutti, *et al*, 2002).

Grafico 04. Diagrama de las formas físicas del almidón y los métodos de evaluación.



Fuente: Robutti, *et al*, (2002).

2.4.6 Efectos de las variables de extrusión sobre la expansión.

Una de las propiedades más importantes de los productos extrudidos tipo “snack” es la textura, la cual estará muy relacionada a la expansión. Al respecto, cabe mencionar que si bien se ha demostrado que la expansión del producto ocurre en las direcciones longitudinal y radial, la expansión radial es la más simple de determinar y refleja la expansión global (Maroulis, 2004).

De las distintas variables que afectan a la expansión, la humedad es la más significativa (González, *et al*, 2002), aunque también son relevantes, la temperatura alcanzada por el material antes de pasar por la boquilla, la relación de compresión, diámetro de la boquilla y la velocidad del tornillo. Además para los productos expandidos, el consumo específico de energía mecánica (CEEM) es un buen indicador del grado de cocción, ya que representa la energía mecánica entregada al material. Esta se calcula de la siguiente manera:

$$CEEM [\text{joule/g}] = 61,3 \cdot 10^{-3} \text{ Torque} \times \text{rpm} / \text{Caudal másico} \quad (1)$$

A mayor CEEM, mayor será la intensidad de las transformaciones del almidón. Sin embargo a medida que aumenta el grado de cocción (grado de destrucción de la estructura cristalina y granular), la expansión crece hasta un valor máximo, a partir del cual ésta disminuye, como consecuencia de la disminución de la elasticidad del “melt”. Por su parte también la temperatura se relaciona directamente con el grado de cocción, y por ende la expansión también mostrará un máximo con la temperatura. Similarmente, a mayor relación de compresión y menor diámetro de boquilla, mayor será la presión alcanzada (mayor intensidad de los esfuerzos de corte) y por lo tanto mayor será el grado de cocción. Con respecto a la velocidad del tornillo, como ya se ha explicado anteriormente, su efecto sobre el grado de cocción depende del nivel de las otras variables, pero en general a mayor velocidad de rotación del tornillo, mayor expansión. (González, *et al*, 2002).

III MATERIALES Y METODOS.

3.1 Lugar de Investigación

El presente trabajo de investigación se llevo a cabo en el Departamento de Puno durante los meses de Marzo a Agosto del 2010.

- La parte experimental (soleado “secado”, extruido y molido) se llevo a cabo en las instalaciones de la Empresa Agroindustrias y Productos Lácteos “PROLAC” Ubicado en la ciudad de Juliaca en el Dpto. de Puno.
- Los análisis y evaluaciones se desarrollaron en el Laboratorio Nutricional de alimento de la EPIA.

3.2 Materiales, Equipos y Reactivos.

3.2.1 Materia Prima.

Se utilizó materia prima Izaño (*Tropaeolum tuberosum R.et P.*) de yemas profundas, proveniente de la Comunidad Ccota, Provincia de Huancané del Departamento de Puno, que es propia de esta zona, debido a que no se dispone de una fuente de información acerca de las variedades cultivadas, recolectándose tubérculos fisiológicamente maduras y seleccionadas.

3.3.2 Equipos, Materiales y Reactivos.

Durante el trabajo de investigación se utilizó los siguientes equipos y materiales:

3.3.2.1. Equipos

- Secador solar: Tiene las siguientes Características: Eficiencia del colector es de 52.5%, el volumen que ocupa el aire en el secador es 87.90 cm³.
- Maquina extrusora: Marca Brady Crop Cooker capacidad 400 Kg/ hr
- Molino: Marca Innova, capacidad 400 Kg /hr.
- Balanza tipo Plataforma: Marca vega, modelo RVIA capacidad 500 Kg
- Balanza analítica: Marca Mettler - fr-300 Japón capacidad máxima 60gr.
- Balanza de Precisión: 0,1 – 500 gr. marca HAUS.
- Potenciómetro
- Maquina Cocedora de 1 hilo
- Lavadores.
- Cortadora graduable.
- Sacos: Capacidad 50 Kg
- Cuchillo: Marca danesa.
- Bolsas: Polietileno Capacidad 01 kg.
- Selladora: Marca tew, type; tistf 452. N° 50777.
- Un panel para escurrido.
- Ventilador tipo paleta
- Mezcladora ó Hidratadora
- Carro transportadora de carga
- Estufa
- HPLC (Chimadzu)
- Computadora
- Equipo de kjeldhal
- Equipo Soxhlet
- Mufla
- Refrigeradoras
- pH metro
- Bomba de vacío.

3.3.2.2 Materiales.

- Higrómetro.
- Termómetro: 0 – 40 °C – 100 °C.
- Cronómetro.
- Zaranda para Molino.
- Termocuplas.
- Dado para extrusora con boquilla de 5mm de diámetro.
- Parihueles.
- Balón de destilación 500 ml.
- Balones aforados de 250 y 500 ml.
- Balones kjeldhal
- Baño María
- Bureta de 50 ml.
- Mascarillas
- Parafina
- Capsulas de porcelana
- Crisol
- Desecador
- Embudo
- Erlenmeyer 250 ml.
- Espátula
- Fundas plásticas de 10 x 15 Pulg.
- Pinza de bureta
- Pinza de capsula
- Papel filtro
- Refrigerantes
- Vasos de precipitación de 100, 250 y 500 ml.

3.3.2.3. Reactivos.

- Acido fosfórico
- Acido clorhídrico

- Acido sulfúrico
- Agua destilada
- Azul de metileno
- Desinfectante (hipoclorito de sodio)
- Etanol
- Éter etílico
- Hidróxido de sodio
- Solución de Fehling A y B
- Solucion de Carrez I y II
- Hexano.

3.3 Procedimiento experimental de operaciones.

El proceso experimental se esquematiza en el diagrama de flujo presentado en la Grafico N° 05. Las operaciones realizadas son las siguientes:

- **Recepción de la materia prima.-** Las características físicas del izaño, como materia prima empleada fueron los siguientes:
 - 30 días después de la cosecha aproximadamente.
 - Fisiológicamente madura.
 - Tiene una forma cónica alargadas
 - Yemas profundas
 - Color amarillo
 - El tubérculo es arenoso
 - Sabor fuerte que lo hace menos apetecible
 - Sin solear
- **Selección y limpieza.-** Esta operación se realizó con la inspección visual para separar las impurezas, malezas, piedras, tierras y otros cuerpos extraños.
- **Remojo.-** Esta operación se realizó inmediatamente después de seleccionado. El tubérculo se puso en remojo por un tiempo de 15 minutos, a fin de humedecer los restos de tierra que puede contener y que es difícil eliminar en la selección.

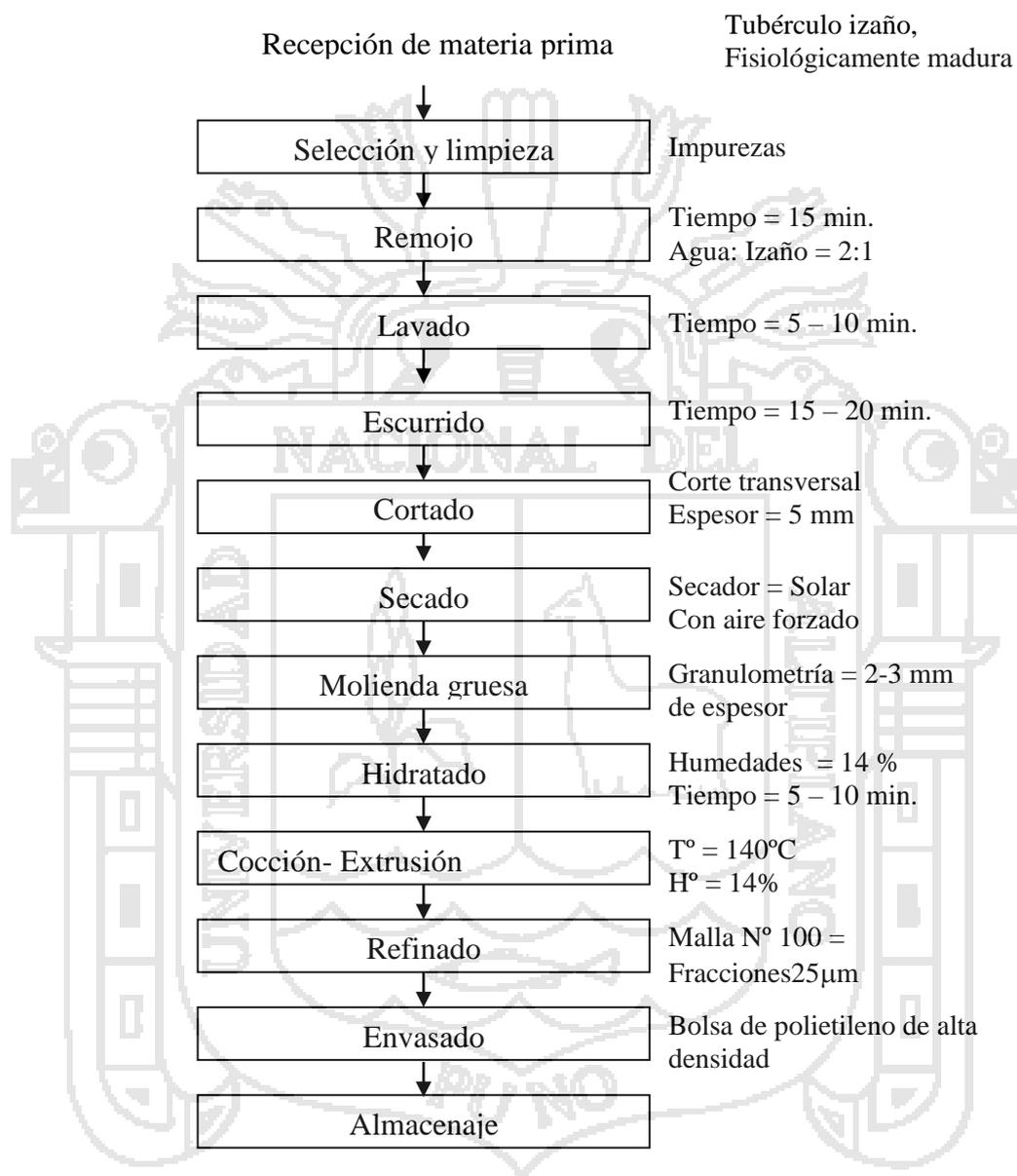
La cantidad de agua para el remojo de izaño fue la relación de 2: 1 respectivamente.

- **Lavado.-** El tubérculo izaño, se sometió a lavado con agua potable, no se utilizó detergente alguna. Esta operación (lavado) se realizó en tinajas, por lo que se procedió a efectuar enjuagues sucesivos por un tiempo de 5 a 10 minutos. La finalidad de este proceso es eliminar todas las impurezas que pudieron tener, y así se obtuvo tubérculos limpios y seleccionados.
- **Escurrido.-** Inmediatamente después de lavado el tubérculo izaño se realizó el escurrido a intemperie, sobre un panel, que consiste en eliminar agua libre, para realizar un balance de materia adecuado, esta operación se realiza por un tiempo de 15 a 20 minutos.
- **Cortado.-** En esta operación se realizó utilizando un cortador graduable, se empleó un solo tipo de corte (transversal), con un espesor de 5 mm para todo el proceso.
- **Secado.-** Una vez que el tubérculo izaño ha sido cortado se ha introducido en las respectivas bandejas del secador solar con aire forzado.
- **Molienda Gruesa (gritz).-** La materia prima deshidratada fue molida para convertirla en gritz con una granulometría de 2 a 3 mm de espesor. En esta operación se realizó la preparación de gritz adecuada, posteriormente ser hidratado.
- **Extrusión.-** La materia prima, triturada e hidratada fue sometida al proceso de cocción - extrusión de acuerdo a los parámetros establecidos.

Humedad de extrusión (H°): El parámetro de trabajo para esta variable se tomó en consideración del extrusor de un solo tornillo, encontrado que este variables influye en mayor proporción sobre la gelatinización del almidón de 9 – 39 % de humedad de producto a extruir, siendo mayor la gelatinización a altas humedades.

Temperatura en el dado de salida (T°): La temperatura del extrusor de tornillo simple utiliza como fuente de calor la fricción del tornillo. En este caso, las temperaturas fue 140°C .

Grafico N° 05: Diagrama de flujo para la obtención de harina instantánea de izaño



Fuente: Elaboración propia (2010).

- **Refinado.** - El producto extruido y secado se ha sometido a un proceso de molido en un molino de martillos con malla número 100, donde la fracción de harinas es fina ($25\ \mu\text{m}$).

- **Envasado.-** Fue envasado en bolsa de polietileno de alta densidad las cuales fueron cerradas herméticamente. El peso neto fue de 50 g por Sachets.
- **Almacenaje.-** Completadas las operaciones de envasado y/o embolsado se procedió al almacenaje de dichos productos en el almacén de productos terminados, debidamente limpios, sin roturas, procediendo a sellar herméticamente.

3.4 Análisis bromatológico del izañó fresco, Soleado (deshidratado) y extruido.

Los análisis bromatológicos del izañó se realizaron de acuerdo a los métodos Asociación de Análisis Químicos Oficiales (AOAC, 1983).

3.4.1 Determinación de pH.

- Si la muestra corresponde a productos densos o heterogéneos, homogeneizarla con ayuda de una pequeña cantidad de agua (recientemente hervida y enfriada) con agitación.
- Colocar en el vaso de precipitación aproximadamente 10 g de muestra preparada, añadir 100 ml de agua destilada (recientemente hervida y enfriada) y agitarle suavemente.
- Si existen partículas en suspensión, dejar en reposo el recipiente para que el líquido se decante.
- Determinar el pH introduciendo los electrodos del potenciómetro, en el vaso de precipitación con la muestra, cuidando que estos no toquen las paredes del recipiente, ni las partículas solidas.

3.4.2 Determinación de la humedad.

Se realizó con la finalidad de determinar la cantidad de humedad que contiene el producto, el procedimiento consiste en pesar un vaso de 50 ml y agregarle 5 g de muestra, colocarlos en una estufa a 100 - 105 °C por 6 horas.

Por diferencia de peso se obtiene la humedad de la muestra y luego se lleva a porcentaje:
Se utiliza la siguiente fórmula.

$$\% \text{HUMEDAD} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso final}}{\text{Peso muestra}}$$

3.4.3 Determinación de cenizas.

Se pesó 2 g de muestra en un crisol de porcelana en una balanza analítica previamente tarada, luego se incineró la muestra a 600°C durante 3 a 5 horas.

El cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Ceniza} = \frac{\text{Peso inicial de la muestra}}{\text{Peso final de la muestra}} \times 100$$

3.4.4 Determinación de la fibra cruda.

Se determinó mediante hidrólisis ácida, alcalina que consistió en pesar 3 g de muestra en un vaso de 600 ml, hervir durante 30 minutos en 200 ml de ácido sulfúrico al 1,25 %. Luego de 30 minutos hervirlo por 30 minutos más, filtrar lavando con agua destilada; luego poner a la estufa por tres horas y pesar (P1). Luego se colocó a la mufla para eliminar la materia orgánica obteniendo ceniza y se pesó nuevamente (P2).

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{P1 - P2}{W} \times 100$$

Donde:

$P1 = \text{Peso } 1$

$P2 = \text{Peso } 2$

$W = \text{Peso de muestra}$

3.4.5 Determinación de la proteína

Se determinó mediante el método Micro Kjeldahl (% N x 6.25), con la finalidad de conocer el nitrógeno total. El procedimiento se basa en tres fases: digestión, destilación y titulación. Para lo cual se pesaron 0,2 a 0,3 g de muestra, luego se le agregó 1 g de

catalizador, y 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado, seguidamente se colocó el balón a la cocina de digestión. Finalizada el proceso de digestión se colocó la muestra digerida en el aparato de destilación, se agregó 5 ml de hidróxido de sodio concentrado e inmediatamente se conectó el vapor para que se produzca la destilación. Se conectó el refrigerante y se recibió el destilado en un Erlenmeyer de 125 ml conteniendo 5 ml de la mezcla del ácido bórico más indicadores de pH. La destilación terminó cuando ya no pasa más amoníaco y hay viraje con ácido clorhídrico valorado (aprox. 0,005 N). Se anotó el gasto.

La cantidad de nitrógeno de la muestra se obtuvo por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ NITROGENO} = \frac{\text{ml de HCl} \times \text{Meq del } N_2}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

Para obtener la cantidad de proteína Bruta, se multiplica por el factor 6,25.

3.4.6 Determinación de la grasa.

Se determinó por el método Soxhlet, se empleando éter de petróleo como solvente. Para ello se pesaron 3 – 5 gramos de muestra que se empaquetó en un pedazo de papel filtro Whatman N° 2, se colocó luego el paquete dentro del aparato Soxhlet, se evaporó el hexano remanente en el matraz en una estufa y se enfrió en una campana.

$$\% \text{ GRASA} = \frac{\text{Peso de matraz (grasa)} - \text{Peso de M. Vacío}}{\text{Gramos de la muestra}} \times 100$$

3.4.7 Determinación de Acido Ascórbico (Vitamina C).

Para este ensayo se utilizó el método de: Cromatografía líquida de alta resolución. Consiste en una cromatografía de partición en fase reversa, fase móvil polar con la detección en el campo ultravioleta a una longitud de onda de 254 nm.

Condiciones para el análisis:

Columna: C18

Longitud: 25 cm

Flujo: 1 ml/min

Detector: UV/Visible

Fase móvil: 25 – 75 (Metanol - agua)

Preparación del estándar de Vitamina C:

- Pesar exactamente 0.005 mg de Acido ascórbico estándar
- Aforar a 100 ml con acido fosfórico 0.05M grado HPLC (solución estándar de Vitamina C).
- Tomar 1 ml de solución y aforar a 10 ml con acido fosfórico 0.05M grado HPLC.
- Filtrar el sobrenadante con acrodiscos de membrana.
- Colocar en vial de vidrio para su inyección.

Extracción del principio activo del izaño fresco:

- Pesar aproximadamente 2 g de muestra.
- Aforar a 25 ml con acido fosfórico 0.05M grado HPLC.
- Filtrar el sobrenadante con acrodiscos de membrana.
- Colocar en vial de vidrio para su inyección.

Extracción del principio activo del izaño deshidratado y extruido:

- Pesar aproximadamente 1 g de muestra.
- Aforar a 25 ml con acido fosfórico 0.05M grado HPLC.
- Filtrar el sobrenadante con acrodiscos de membrana.
- Colocar en vial de vidrio para su inyección.

Cuantificación de Vitamina C.

Concentración de Vitamina C ($\mu\text{g/g}$) = $A.M \times C.E \times F.D/A.E$

Donde:

A.M = Área de la Muestra

A.E = Área del estándar

C.E = Concentración del estándar

F.D = Factor de Dilución

3.5 Análisis estadístico

Para la evaluación de cada uno de los parámetros se realizó un diseño estadístico completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial para cada uno de los procesos realizados como se detalla a continuación:

3.5.1 Modelo matemático

El modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Es la variable de respuesta

μ = Constante, media poblacional a la cual pertenecen las observaciones.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A

β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la Interacción del i-ésimo nivel del factor A con el j-ésimo nivel del factor B

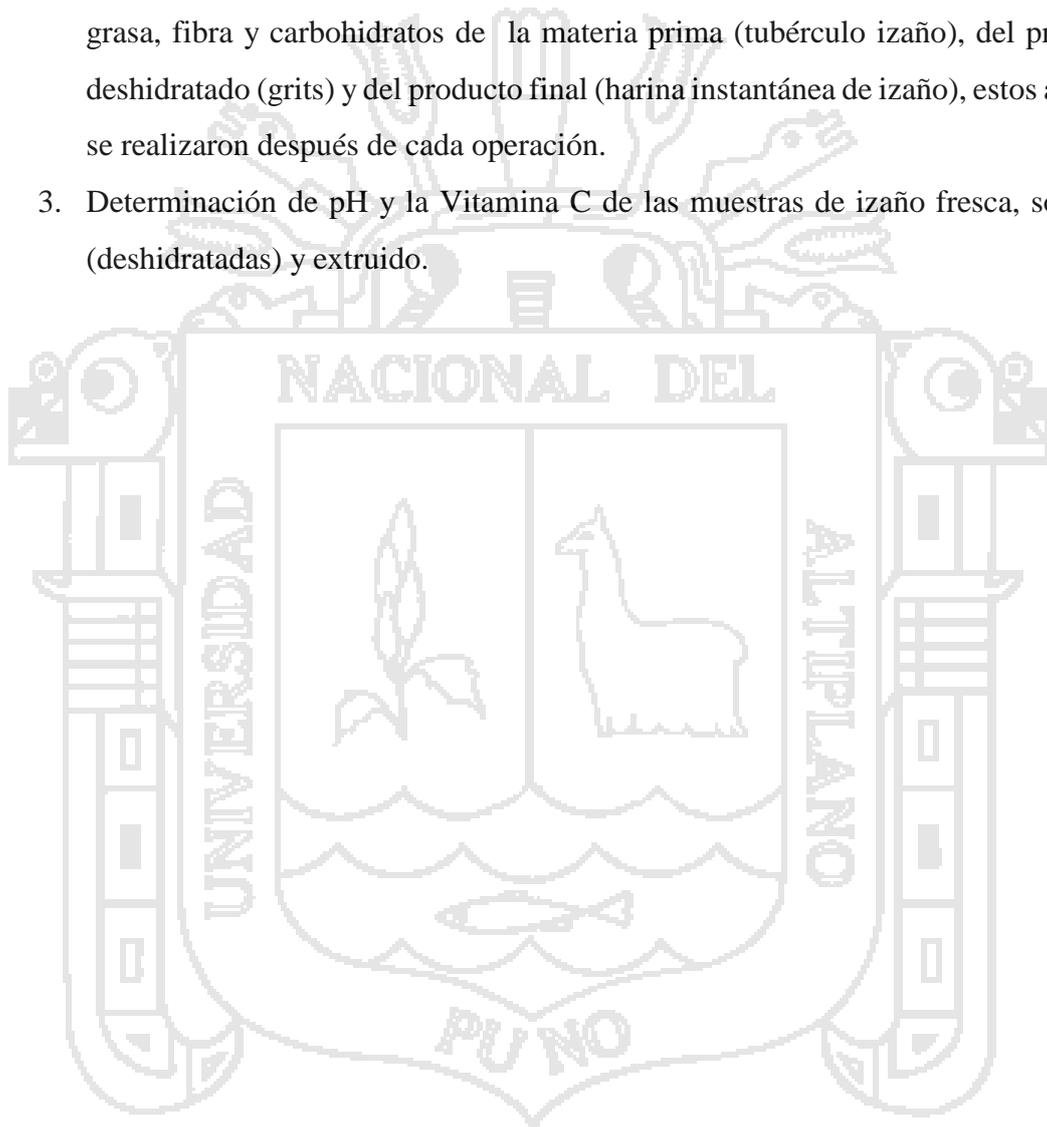
ε_{ijk} = Efecto del error experimental.

Para el análisis de Vitamina C se utilizó Test ANDEVA y TUKEY, para muestras dependientes para el análisis de Vitamina C en Izaño fresca, soleada (deshidratada) y extruida correspondiente a tres temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C.

Realización de gráficos estadísticos, a partir de los datos obtenidos del contenido de Vitamina C en análisis de HPLC de las muestras de izaño fresca, soleadas (deshidratadas) a las tres temperaturas para el proceso de deshidratación y extruido. Además para el análisis proximal.

3.5.2. Variables de respuesta

1. La curva de velocidad de secado muestra la eliminación de agua del alimento, se realiza normalmente en una serie de etapas diferenciadas entre sí por la velocidad de secado. Dentro de ello se encuentra diferentes velocidades como velocidad decreciente, velocidad constante y la humedad crítica del alimento.
2. Determinación de las características químico proximal: Humedad, proteína, ceniza, grasa, fibra y carbohidratos de la materia prima (tubérculo izaño), del producto deshidratado (grits) y del producto final (harina instantánea de izaño), estos análisis se realizaron después de cada operación.
3. Determinación de pH y la Vitamina C de las muestras de izaño fresca, soleadas (deshidratadas) y extruido.



IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Resultados durante el proceso de deshidratado.

En el proceso de deshidratación se empleó un secador solar con aire forzado, para acelerar el tiempo de secado, para ello se seleccionó los izaños frescos fisiológicamente maduras, seleccionadas y lavadas, igualmente se procedió a un corte transversal de un espesor de 5 mm, inmediatamente se colocó uniformemente los izaños cortados en papel de aluminio y se someten a las temperaturas establecidas para el tratamiento 40, 50 y 60 °C. El tratamiento ha sido controlado el peso en intervalos de tiempo de 10 minutos, hasta llegar a un peso constante.

Se realizaron cálculos específicos para las tres temperaturas de secado 40, 50 y 60 °C como son:

Calculo de humedad del solido:

$$X_i = W_s - W_f / W_f$$

Donde:

X_i = Humedad del solido

W_s = Peso del sólido

W_f = Peso final del solido

Calculo del área expuesta al secado:

$$A = a \times h$$

Donde: A = Área del secado

a = Ancho de la bandeja = 0.5 m

h= Largo de la bandeja = 1 m

Para el efecto se empezó con la temperatura de 40°C evidenciándose que a un tiempo de 5 horas y 30 minutos, el peso del izaño fresca es constante, tal como se observa en el

Cuadro N° 07 y Grafico N° 06.

Cálculos:

Peso de la Bandeja (g):

$$Ms = (\text{Bandeja} + \text{muestra g}) - (\text{Bandeja g}) = Xi = Ws - Wf/Wf$$

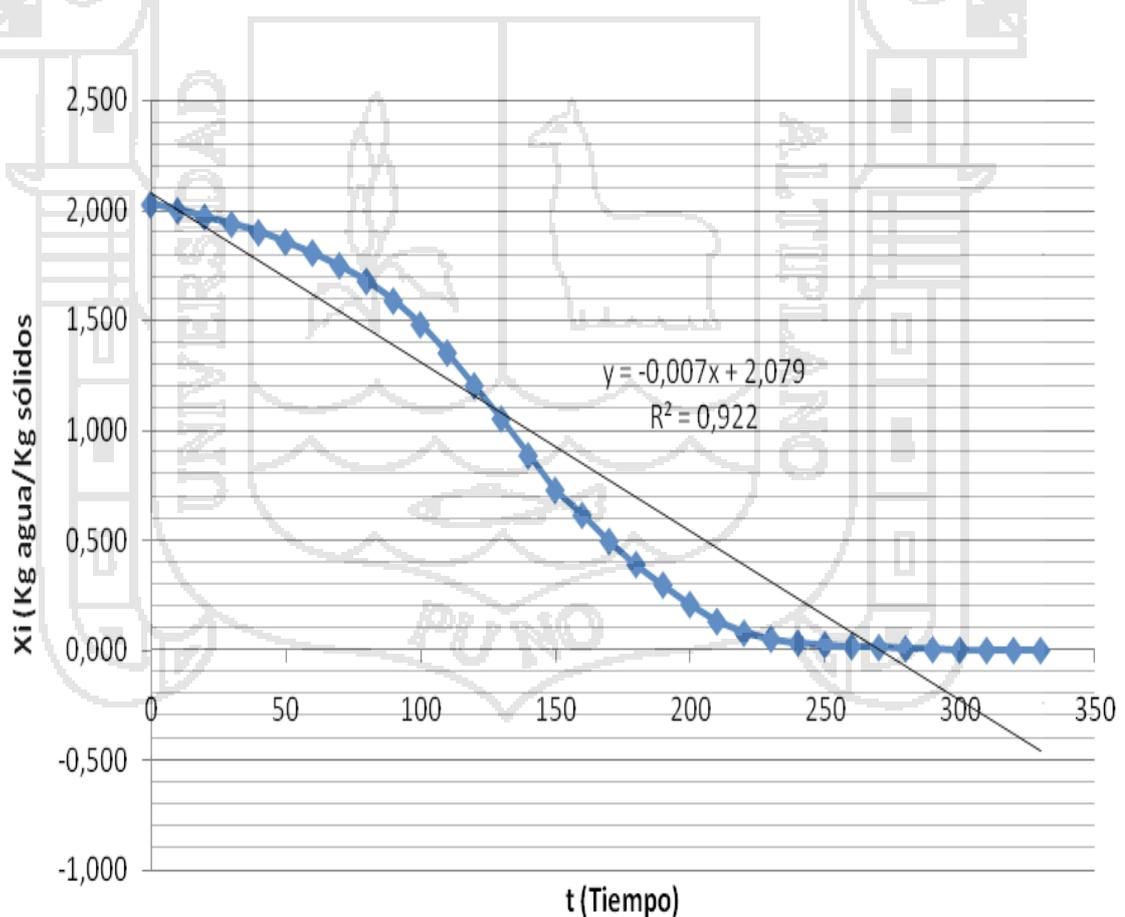
Donde: Ms = Materia seca en g

Xi = Humedad del sólido (Kg agua/Kg sólido)

Ws = Peso inicial de sólido en g

Wf = peso final del sólido en g

Grafico N° 06: Curva de secado de izaño fresco a 40°C.



Fuente: Elaboración Propia (2010)

Cuadro N° 07: Resultados de proceso de secado en izaño fresco a temperatura de 40°C.

Tiempo (min)	Bandeja (g)	Bandeja + muestra (g)	Ms (g)	Xi (Kg agua/Kg solido)
0	3540,0	21540,0	18000,0	2,027
10	3540,0	21350,0	17810,0	2,001
20	3540,0	21140,0	17600,0	1,971
30	3540,0	20908,0	17368,0	1,939
40	3540,0	20638,0	17098,0	1,901
50	3540,0	20329,0	16789,0	1,857
60	3540,0	19979,0	16439,0	1,808
70	3540,0	19569,0	16029,0	1,750
80	3540,0	19061,0	15521,0	1,679
90	3540,0	18428,0	14888,0	1,590
100	3540,0	17656,0	14116,0	1,482
110	3540,0	16744,0	13204,0	1,353
120	3540,0	15680,0	12140,0	1,204
130	3540,0	14610,0	11070,0	1,053
140	3540,0	13420,0	9880,0	0,886
150	3540,0	12304,0	8764,0	0,729
160	3540,0	11492,0	7952,0	0,615
170	3540,0	10651,0	7111,0	0,497
180	3540,0	9898,0	6358,0	0,391
190	3540,0	9235,0	5695,0	0,298
200	3540,0	8602,0	5062,0	0,209
210	3540,0	8055,0	4515,0	0,132
220	3540,0	7675,0	4135,0	0,079
230	3540,0	7485,0	3945,0	0,052
240	3540,0	7355,0	3815,0	0,034
250	3540,0	7293,0	3753,0	0,025
260	3540,0	7245,0	3705,0	0,018
270	3540,0	7205,0	3665,0	0,013
280	3540,0	7170,0	3630,0	0,008
290	3540,0	7145,0	3605,0	0,004
300	3540,0	7130,0	3590,0	0,002
310	3540,0	7120,0	3580,0	0,001
320	3540,0	7115,0	3575,0	0,000
330	3540,0	7115,0	3575,0	0,000

Fuente: Elaboración Propia (2010)

Para la temperatura de 50°C evidenciándose que a un tiempo de 5 horas, el peso del izaño fresca es constante, tal como se observa en el Cuadro N° 08 y Grafico N° 07.

Cálculos:

Peso de la Bandeja (g):

$$Ms = (\text{Bandeja} + \text{muestra g}) - (\text{Bandeja g})$$

$$Xi = Ws - Wf/Wf$$

Donde:

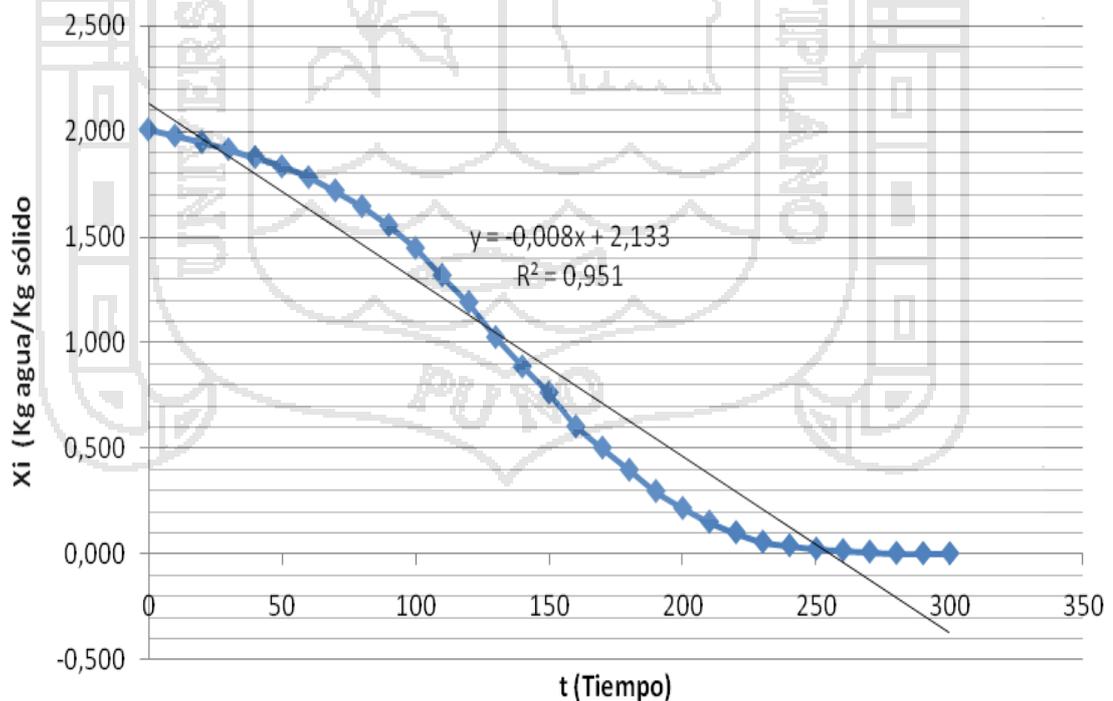
Ms = Materia seca en g

Xi = Humedad del sólido (Kg agua/Kg sólido)

Ws = Peso inicial de sólido en g

Wf = Peso final del sólido en g

Grafico N° 07: Curva de secado de izaño fresco a 50°C.



Fuente: Elaboración Propia (2010)

Cuadro N° 08: Resultados de proceso de secado en izaño fresco a temperatura de 50°C

Tiempo (min)	Bandeja (g)	Bandeja + muestra (g)	Ms (g)	Xi (Kg agua/Kg solido)
0	3540,0	21540,0	18000	2,010
10	3540,0	21330,0	17790	1,981
20	3540,0	21118,0	17578	1,952
30	3540,0	20870,0	17330	1,917
40	3540,0	20599,0	17059	1,879
50	3540,0	20288,0	16748	1,835
60	3540,0	19919,0	16379	1,784
70	3540,0	19471,0	15931	1,721
80	3540,0	18936,0	15396	1,647
90	3540,0	18289,0	14749	1,556
100	3540,0	17516,0	13976	1,448
110	3540,0	16592,0	13052	1,319
120	3540,0	15674,0	12134	1,191
130	3540,0	14490,0	10950	1,025
140	3540,0	13494,0	9954	0,886
150	3540,0	12608,0	9068	0,762
160	3540,0	11463,0	7923	0,602
170	3540,0	10739,0	7199	0,501
180	3540,0	9988,0	6448	0,396
190	3540,0	9265,0	5725	0,295
200	3540,0	8688,0	5148	0,214
210	3540,0	8222,0	4682	0,149
220	3540,0	7865,0	4325	0,099
230	3540,0	7545,0	4005	0,055
240	3540,0	7423,0	3883,0	0,037
250	3540,0	7307,0	3767,0	0,021
260	3540,0	7258,0	3718,0	0,014
270	3540,0	7210,0	3670,0	0,008
280	3540,0	7165,0	3625,0	0,001
290	3540,0	7155,0	3615,0	0,000
300	3540,0	7155,0	3615,0	0,000

Fuente: Elaboración Propia (2010)

Para la temperatura de 60°C evidenciándose que a un tiempo de 4 horas y 20 minutos, el

peso del izaño fresca es constante, tal como se observa en el Cuadro N° 09 y Grafico N° 08

Cálculos:

Peso de la Bandeja (g):

$$Ms = (Bandeja + muestra \text{ g}) - (Bandeja \text{ g})$$

$$Xi = Ws - Wf/Wf$$

Donde:

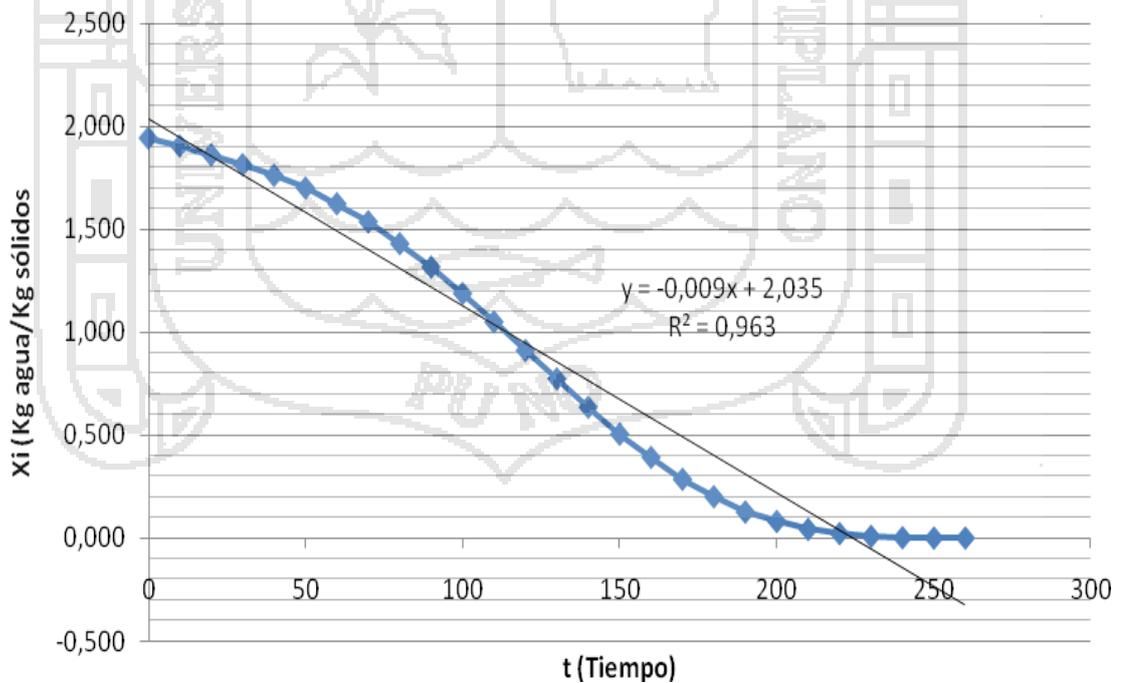
Ms = Materia seca en g

Xi = Humedad del solido (Kg agua/Kg solido)

Ws = Peso inicial de sólido en g

Wf = peso final del sólido en g

Grafico N° 08: Curva de secado de izaño fresco a 60°C.



Fuente: Elaboración Propia (2010)

Cuadro N° 09: Resultados de proceso de secado en izaño fresco a temperatura de 60°C.

Tiempo (min)	Bandeja (g)	Bandeja + muestra (g)	Ms (g)	Xi (Kg agua/Kg solido)
0	3540,0	21540,0	18000	1,941
10	3540,0	21260,0	17720	1,902
20	3540,0	20948,0	17408	1,860
30	3540,0	20598,0	17058	1,812
40	3540,0	20218,0	16678	1,760
50	3540,0	19768,0	16228	1,699
60	3540,0	19208,0	15668	1,622
70	3540,0	18568,0	15028	1,535
80	3540,0	17788,0	14248	1,428
90	3540,0	16958,0	13418	1,315
100	3540,0	16018,0	12478	1,187
110	3540,0	15008,0	11468	1,049
120	3540,0	13996,0	10456	0,911
130	3540,0	12984,0	9444	0,773
140	3540,0	11974,0	8434	0,635
150	3540,0	11014,0	7474	0,504
160	3540,0	10194,0	6654	0,392
170	3540,0	9414,0	5874	0,285
180	3540,0	8794,0	5254	0,201
190	3540,0	8254,0	4714	0,127
200	3540,0	7914,0	4374	0,080
210	3540,0	7634,0	4094	0,042
220	3540,0	7484,0	3944	0,022
230	3540,0	7386,0	3846	0,008
240	3540,0	7338,0	3798	0,002
250	3540,0	7325,0	3785	0,000
260	3540,0	7325,0	3785	0,000

Fuente: Elaboración Propia (2010)

Es notorio que las muestras de izaño fresco sometidos a deshidratación a las tres temperaturas 40°C, 50°C y 60°C, existen diferencia entre ellas en lo que corresponde al tiempo de secado, pues experimentalmente se pudo determinar que a menor temperatura existe mayor tiempo de secado como: en el izaño fresco sometidos a temperatura de 40°C el tiempo de secado estimado ha sido 5 horas y 30 minutos, para el izaño fresco sometidos a temperatura de 50°C el tiempo de secado estimado ha sido 5:00 horas y para el izaño fresco sometidos a temperatura de 60°C el tiempo de secado estimado ha sido 4 horas y 20 minutos. Así como se puede observarse en los Cuadros 07, 08 y 09 respectivamente. A estas tres temperaturas los izaños tomaron una apariencia diferente a la inicial adquiriendo características sensoriales propias.

El peso inicial del producto que ingresa al secador fue de 18 Kg para los tres tratamientos de temperaturas como 40°C, 50°C y 60°C y después de un transcurso de tiempo de secado los pesos han sido constante como: 3.575 Kg, 3.615 Kg y 3.785 Kg respectivamente para las tres temperaturas como se observa en los Cuadros 07, 08 y 09. Esto quiere decir que para producir 1 Kg. de harina cruda se requiere para los tres tratamientos de temperatura como: 5.06 Kg, 4.98 Kg y 4.76Kg respectivamente y obteniendo un promedio total de los tres tratamientos es 4.93 kilos del tubérculo izaño. En estudios realizados por, Castro (1985), se menciona que para producir 1 Kg. de harina cruda de izaño, se ha requerido 5.18 Kg. del tubérculo izaño pre hervido, utilizando un secador solar diseñado para tubérculos. Y Incahuanaco (2003) menciona que para producir 1 Kg de harina cruda de izaño ha requerido 5.13 Kg de tubérculo izaño. Entonces el resultado obtenido en esta investigación se aproxima a los valores que publicaron los referidos autores. Estas diferencias se deben al tipo de ecotipo utilizado en la investigación.

Las curvas de velocidad de secado características se presenta en los Gráficos 06, 07 y 08, donde se observa la eliminación de agua del alimento izaño tubérculo fresco que se realizó normalmente en una serie de etapas diferenciado entre sí por la velocidad de secado así como son:

- Fase (A-B), se considerado como etapa inicial ó periodo de estabilización ocurre el calentamiento ligero del producto y el agua contenida en él. Esta etapa constituye una proporción despreciable del ciclo total de secado (Geancoplis 1982).

- Posteriormente se produce una reducción importante del contenido de agua a velocidad de secado constante. Se considera como fase (B - C). Durante este periodo la superficie del sólido se mantiene saturada de agua líquida, debido a que el movimiento del agua desde el interior del sólido a la superficie ocurre a la misma velocidad que la de evaporación en la superficie de la cámara (Paul, 1998).
- Posteriormente existen varios periodos de velocidad de secado decreciente, periodos se considera como fase (C - D). A partir del punto C la temperatura del secador comienza a elevarse, elevación que persiste durante el secado hasta aproximarse a la temperatura del bulbo seco del aire (Paul, 1998), cuando el producto izaño se ha secado casi totalmente.
- El periodo de velocidad decreciente consta de dos etapas como periodo o fase (C - E) y (E - D) respectivamente. En el periodo (C - E) de la velocidad decreciente, la superficie se seca y disminuye la velocidad de secado. Al alcanzar el punto E el plano de evaporación se desplaza penetrando hacia el interior del sólido y la velocidad de secado decae aun más (Clair, B 1987).

Los Gráficos 06, 07 y 08, se observa que el secado por aire forzado presenta un comportamiento que se ajusta a una curva característica de secado de cereales de quinua, comparando con los estudios realizados por Thomas (1998) en tipo de secado por convección forzada.

En este trabajo de investigación, con el uso de un secador solar con aire forzado, el tiempo es relativamente rápido para lograr el secado total y mantener un proceso constante, lo que demuestra las grandes posibilidades en el secado de productos, haciendo el uso de energía solar abundante en la zona andina. Castro (1985) menciona el tiempo en días para llegar a peso constante y estado seco en tubérculo izaño, en tipo de corte transversal, que fue 5.3 días a la intemperie. Este resultado comparado con el secador solar de aire forzado como se muestra en los Cuadros 07, 08 y 09, es reducido el tiempo de secado. La aplicación de esta tecnología demuestra el ahorro de tiempo de secado, el que dependerá de acuerdo a las condiciones y características del proceso.

4.2 Resultados de las corridas experimentales de proceso cocción - extrusión.

La materia prima izaño seco deshidratado, fue sometida a proceso de cocción extrusión, de acuerdo a los parámetros establecidos y determinados por Incahuanaco (2003).

Humedad de extrusión (H°): El parámetro de trabajo para esta variable se tomó en consideración del extrusor de un solo tornillo, encontrado que estas variables influye en mayor proporción sobre la gelatinización del almidón de 9 – 39 % de humedad de producto a extruir, siendo mayor la gelatinización a altas humedades (Harper, 1981) y (Kokini, 1992).

Temperatura en el dado de salida (T°): La temperatura del extrusor de tornillo simple utiliza como fuente de calor la fricción del tornillo. En este caso, las temperaturas recomendadas por (Harper, 1981) y (Kokini, 1992) son: 90°C y 180°C de temperatura. En esta operación, la materia prima hidratada ingresa a la extrusora con 12 % de humedad, lo que representa 3.49 Kg agua/ Kg de sólido seco, que contiene 0.42Kg de agua y 3.07 Kg de sólido seco, y sale el producto final (harina instantánea) con 4.28 % de humedad, lo que representa 3.21 Kg agua/ Kg sólido seco, que contiene 0.14 Kg de agua y 3.07 Kg de sólido seco.

Balance de materia en el proceso de cocción – extrusión.

En el Cuadro N° 10. Se presenta el resumen general de balance de materia tomando como base el tratamiento 12% de humedad de Izaño a una Temperatura de 140°C, y las Operaciones Unitarias se presenta en el Anexo 2.

Cuadro N° 10: Balance de materia en el proceso de extrusión.

12.0% de humedad	4.28% de humedad
INGRESO	SALIDA
Izaño humedo : 3.49 Kg	Izaño seco : 3.21 Kg
Agua : 0.41 Kg	Agua : 0.14 Kg
Sólido seco : 3.07 Kg	Sólido seco : 3.07 Kg

Fuente: Elaboración propia (2010) recomendado por Incahuanaco, 2003.

4.3 Contenido de Vitamina C.

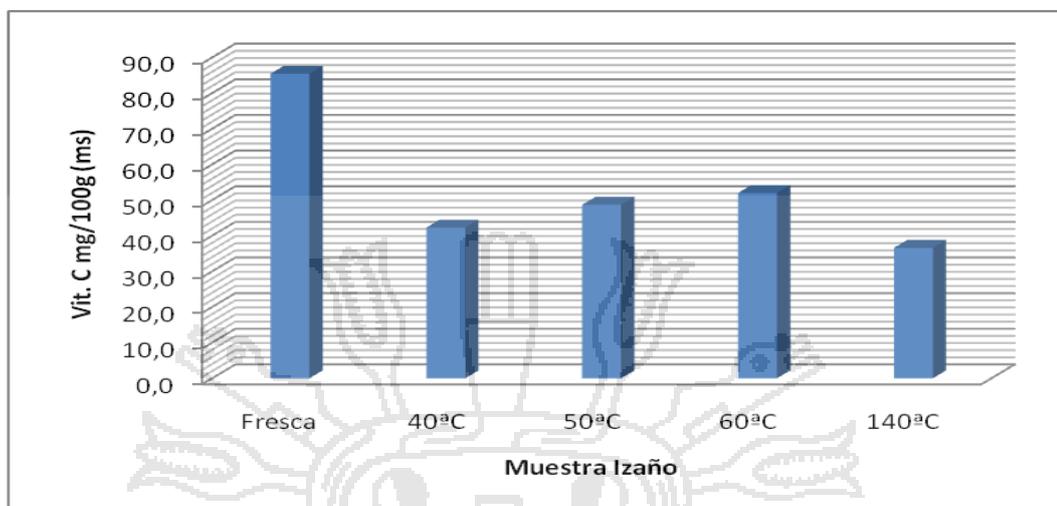
Obtenido el izañó fresco, deshidratado y extruido, se procedió a realizar el análisis de contenido de Vitamina C, tratado a diferentes temperaturas como: 40°C, 50°C y 60 °C y también ha sido tratado a temperatura de extruido (140°C). Reportándose los datos en base seca. Determinándose que el contenido de Vitamina C del izañó fresco en base seca es de 85.5 mg/100g, siendo este valor superior a lo reportado por Collazos (1996), estas diferencias posiblemente sean a la diferencia de variedades de izañó y también diversos tratamientos que se han llevado en esta investigación, igualmente puede ser a la diferencia de variedades de izañó y lugar de cultivo a distintas características del suelo. Este valor se ha comparado con las muestras deshidratadas a diferentes temperaturas; mientras que a una temperatura de 40°C el contenido de Vitamina C es de 42.3 mg/100g, a una temperatura de 50°C el contenido de Vitamina C es de 48.7 mg/100g, mientras que a 60°C el contenido de Vitamina C es de 52 mg/100g y a la temperatura de cocción-extrusión que es 140°C el contenido de Vitamina C es 36.6 mg/100g tal como se observa en el Cuadro N° 11 y Grafico N° 09; es decir que las temperaturas alteran el contenido de Vitamina C, igualmente la diferencia de Vitaminas pueden ser controlados por los tratamientos de tiempo, en este caso se observa en el Grafico N° 04 que a corto tiempo de deshidratación se conserva mejor.

Cuadro N° 11: Contenido de Vitamina C en muestras estudiadas.

Izaño	Tiempo de deshidratación (min)	Vit. C (mg/100g) Base seca	Perdida de Vit C (%)
Fresca		85,5	
Deshidratado a 40°C	330,0	42,3	50,50
Deshidratado a 50°C	300,0	48,7	43,01
Deshidratado a 60°C	260,0	52,0	39,15
Extruida a Tiempo N.C.			
140°C		36,6	57,17

Fuente: Elaboración propia (2010)

Grafico N° 09: Relación de contenido de Vitamina C en izaño fresco, deshidratado y extruido.



Fuente: Elaboración propia (2010)

Para el presente trabajo de investigación se planteo comparar el efecto de las Vitaminas C en el deshidratado del tubérculo. Para esto en la planificación del ensayo se especifican los tratamientos como: control Vitaminas C en el izaño fresco, deshidratado a diferentes temperaturas y extruido, a partir de un peso inicial. Para evaluar la Vitamina C tratados a diferentes temperaturas, al empezar el ensayo se determino la Vitamina C en izaño fresco, dato que vendría a constituir peso inicial, tomando luego un peso al final del experimento, lo que constituye el peso final. Los datos se representan en cuadro ordenado de resultados, de acuerdo a los siguientes tratamientos que se muestra en el Cuadro N° 12.

Cuadro N° 12: Evaluación de la vitamina C tratados a diferentes temperaturas.

(Cuadro ordenado de resultados).

Tratamientos	Izaño Fresco	Temperaturas de deshidratación			T° Extrusión
		40°C	50°C	60°C	140°C
1	85,2	42,3	48,2	52	37
2	85,9	42,7	48,7	52,4	36,4
3	85,5	42,3	48,8	51,7	36,6
4	85,4	41,9	49,1	51,9	36,4

Fuente: Elaboración Propia (2010).

Cuadro N° 13: Análisis de Variancia para los tratamientos a diferentes temperaturas de deshidratación.

F de V	G.L.	SC	CM	F.C.	Ft
					5%
Tratamientos	4	5836,752	1459,188	14591,88	**
Error	15	1,5	0,1		
Total	19	5838,252			

Fuente: Elaboración Propia (2010).

Con 1% de Coeficiente de Variabilidad tenemos pase libre para proseguir con nuestros análisis estadísticos.

Como F_c sobrepasa el límite establecido para 5% y siendo F_c en este caso la relación existente entre las variancias entre tratamientos, hay diferencia altamente significativa entre los tratamientos en estudio. Ahora queda por establecer entre cual o cuales de dichos tratamientos.

F_c supera el límite establecido en la distribución teórica de F para el nivel de 5% de probabilidades en contra, lo que nos permite afirmar, que tenemos la probabilidad del 95% de encontrar por lo menos una diferencia significativa entre las posibles comparaciones que podemos establecer entre los tratamientos en estudio, tomando como valor representativo el promedio de cada uno de ellos.

En la tabla de Valores de la Amplitud Estudiantizada Significativa para usar en la prueba de TUKEY, para el nivel del 5%, que está ubicado en la intersección de 19 Grados de Libertad para el error, y 5 tratamientos en estudio. El valor es 4.25. Luego se calculo la Desviación Stándar de los promedios que es 0.079. Y la Diferencia Significativa Honesta de Tukey al 5% es 0.34.

Contando con el valor de la Diferencia Significativa Honesta de Tukey, en el presente trabajo de investigación a nivel del 5%, los tratamientos han sido ordenados de manera descendente, es decir, del mayor al menor promedio, ordenando se tiene.

Tratamiento	Promedio
1	85.5
4	52
3	48.7
2	42.3
5	36.6

Para proceder a las comparaciones, una vez ordenados los promedios de acuerdo a la necesidad de mayor comprensión, se asigno los números romanos a los promedios de las tratamientos, de manera que la forma más clara resultan priorizados, entonces, en el presente estudio se tiene.

Orden de meritos	Tratamiento	Promedio
I	1	85.5
II	4	52
III	3	48.7
IV	2	42.3
V	5	36.6

La Prueba de Tukey, se utiliza para establecer comparaciones de todos los promedios entre sí, y se procedió a comparar el promedio más alto con el más bajo, con la finalidad de establecer si entre ellos hay o no diferencia detectable estadísticamente. Entonces, en el caso que nos ocupa, tenemos:

- I – V (1-5): $85.5 - 36.6 = 48.9 > 0.34$
- I – IV (1-2): $85.5 - 42.3 = 43.2 > 0.34$
- I – III (1-3): $85.5 - 48.7 = 36.8 > 0.34$
- I – II (1-4): $85.5 - 52 = 33.5 > 0.34$

Hallar el valor de DSH es establecer un valor mínimo o límite en este caso ha sido 0.34; en esta comparación de promedios de los tratamientos como se observa en datos anteriores todos sobrepasan el límite establecido entonces hay evidencia estadística de que los cuatro promedios en cuestión son diferentes es decir ninguna se superpone, pero por existir un contenido mayor de Vitamina C en los tratamientos térmicos que han sufrido es el tratamiento (4) que corresponde a temperatura de deshidratación a 60°C. En esta comparación concluimos que el izaño fresco contiene más porcentaje de Vitamina C que el resto de los tratamientos.

4.4. Composición químico proximal en la materia prima, después del secado y en el producto final (Harina instantánea de izaño).

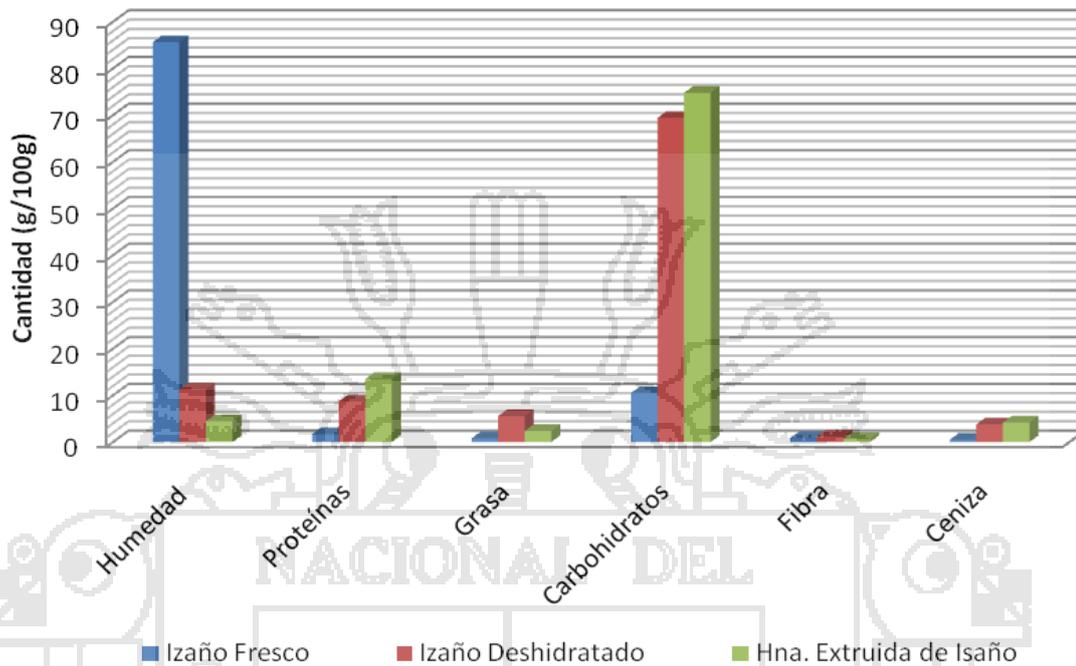
Se ha determinado análisis químico proximal en la Materia Prima (Tubérculo), en base seca (Gritz) y en el producto terminado (Harina instantánea) como se detalla en el Cuadro N° 14 y se demuestran las diferencias en el Grafico N° 10.

Cuadro N° 14: Composición químico proximal en la materia prima, después de deshidratado y en el producto final.

Componentes (g/100g)	Izaño fresco	Izaño deshidratado	Harina extruida de izaño
Humedad	85,63	11,31	4,45
Proteínas	1,7	8,7	13,5
Grasa	0,8	5,56	2,37
Carbohidratos	10,5	69,43	74,8
Fibra	0,87	1,2	0,68
Ceniza	0,5	3,8	4,2
pH	4.2	5.4	6

Fuente: Elaboración propia (2010).

Grafico N° 10: Composición química proximal en la materia prima, después de deshidratado y en el producto final.



Fuente: Elaboración propia (2010).

Humedad: La humedad en la materia prima (tubérculo) es de 85.63% lo que muestra claramente que este tubérculo tiene alto contenido de humedad. En el izaño deshidratado se obtuvo 11.31% de humedad y después del proceso cocción – extrusión la humedad llegó a 4.45%. Este último indica que en la descarga del extrusor, la pasta cocida a alta temperatura es forzada a través de una pequeña abertura llamada boquilla, donde aquí ocurre la caída de presión, lo que a la salida ocasiona la expansión y la evaporación de la humedad del producto (Harper y Jansen 1988).

La humedad obtenida 4.45% comparado con el valor encontrado en los estudios realizados por Romero y Bressani (1985), reporta un valor de 8% de humedad en el producto extruido de la quinua. Esto probablemente sea debido a la diferencia entre tubérculo y grano.

La Organización de las Naciones (ONU, 1995), establece algunos requerimientos nutricionales para la elaboración de mezclas alimenticias instantáneas para una

población de mayor riesgo tales como el contenido de humedad del producto 5 %, en lo cual el resultado obtenido está dentro de los estándares establecidos.

Proteína: En la materia prima (Tubérculo) alcanza 1.7%, en el producto deshidratado 8.7% y en el producto terminado 13.5%. En comparación del contenido de proteínas de otros productos se muestra que los valores obtenidos en el producto final es igual al contenido de proteína de los cereales y es menor que los leguminosas. (Esther I. 1990). Al utilizar izaño deshidratado en procesos de cocción – extrusión con alta temperatura por corto tiempo, se eleva el contenido de la proteína bruta del producto, el mismo que se incrementa a porcentajes mayores que la del tubérculo y producto deshidratado, esto indica que al utilizar productos de alto valor proteico en procesos de extrusión (HTST) las pérdidas nutritivas son mínimas además mejora la aceptabilidad, digestibilidad y la vida útil del producto (Bjock y Asp, 1983).

Según la referencia de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 1985), indica que la harina debe contener un mínimo 12% de proteína, para los niños de 24 meses de edad. El resultado que se tiene (14.37% de Proteína), está dentro de los estándares establecidos. También la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 1995) establece requerimientos nutricionales para la elaboración de mezclas alimenticias instantáneas para una población de mayor riesgo tales como el contenido de proteína mínimo 12%.

Grasa: La cantidad de grasa obtenido en el tubérculo es de 0.8%. Después del secado se obtuvo 5.56% y después de cocción – extrusión fue 2.37%. Aquí se observa que al deshidratar la grasa se incrementa debido al bajo contenido de humedad.

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 Bjorck y Asp (1983). Mediante cocción – extrusión reduce el contenido de monoglicéridos y ácidos grasos libres por formación de complejos con la amilosa, haciendo menos utilizable. Bjorck y Asp (1983), mencionan que la estabilidad de las grasas en harina completa disminuye con el incremento de la temperatura de extrusión.

En efecto así como se observa en la Grafico N° 10 el tubérculo deshidratado tiene 5.56% de grasa, una vez extruido y refinado se tiene 2.37%, lo que muestra que hubo disminución de grasa.

Según la referencia de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 1985), indica que en harina deberá contener máximo 7.5% de grasa para los niños de 24 meses de edad, en lo cual el resultado que se tiene está dentro de los estándares establecidos.

Carbohidratos: Con relación a los carbohidratos, los resultados son: 10.5% en el tubérculo, 69.43% después de deshidratado y 74.8% en la harina instantánea de izaño como se muestra en el Cuadro N° 14.

El rol nutricional de los carbohidratos en nutrición humana es a: Aportar energía, proporcionar textura, conferir un sabor dulzón a los alimentos, favorecer la retención de agua en los mismos (Paredes, C. 1993). El aporte de energía proveniente de los carbohidratos es mayor en comparación a la energía proveniente de la grasa y proteína. El incremento de carbohidrato de producto extruido es debido a la temperatura del producto que supera la temperatura de ebullición normal, pero no ocurre evaporación debido a la elevada presión que existe. Durante el paso, el alimento a lo largo del extrusor es transformado de un estado granular crudo a una masa continua. Esta transformación involucra la ruptura de los gránulos del almidón, la desnaturalización y reorientación de las moléculas de proteína, y otras reacciones que pueden modificar las propiedades nutricionales, texturales y organolépticas del producto final, Harper y Jansen (1988). De igual forma se aprecia en la Grafico N° 10 que hay un aumento de carbohidratos, esto se debe al incremento de temperatura y la disminución de los niveles de humedad, lo que esto incrementa el número de uniones rotas del almidón (Linko, 1981).

Cenizas.- De acuerdo a los datos obtenidos en el análisis de laboratorio para la determinación de cenizas, se aprecia en el Grafico N° 10 que el porcentaje de cenizas es menor en el izaño fresco (0.5%) que en la deshidratada (3.8%) y izaño extruido. Este

aumento en el deshidratado y en la harina extruido de izaño perdió un porcentaje de agua, permitiendo que los elementos minerales se encuentren en mayor concentración.

Fibra.- En el análisis de laboratorio para la determinación de fibra, se observa en el Grafico N° 10, que el porcentaje de fibra contenida en el izaño fresco (0.87%) es menor con respecto al contenido de fibra en el izaño deshidratado (1.2%) , esta diferencia se debe a que en el proceso de deshidratación, el almidón se gelatiniza y la celulosa se cristalinice ocasionando que la textura sea mas rígida y dura, el mayor contenido de fibra en estos productos nos lleva a creer que podría usarse en la dieta alimentaria no únicamente como alimentos nutritivos si no también como alimentos dietéticos.

La diferencia a que se debe el cambio en la composición nutricional de izaño fresco hasta el producto final es debido a los tratamientos a las que se le somete.

Determinación de pH.- De acuerdo al análisis de laboratorio se puede apreciar en el Grafico 11, que el pH en el izaño fresco es 4.2 es más bajo en comparación con el izaño deshidratado que es 5.4, indicando que es menos propensa al desarrollo y ataque de los microorganismos no deseables y el pH de izaño extruido es 6, son ligeramente ácidos y más propensos al desarrollo de y ataque de microorganismos no deseables, además de afectar directamente al porcentaje de pérdida de Vitamina C en el proceso de deshidratación, según estos valores de pH de puede determinar que el porcentaje menor de pérdida de la Vitamina C , será en el izaño deshidratado.

Grafico N° 11: Relación de pH entre el izaño fresco, deshidratado y extruido.



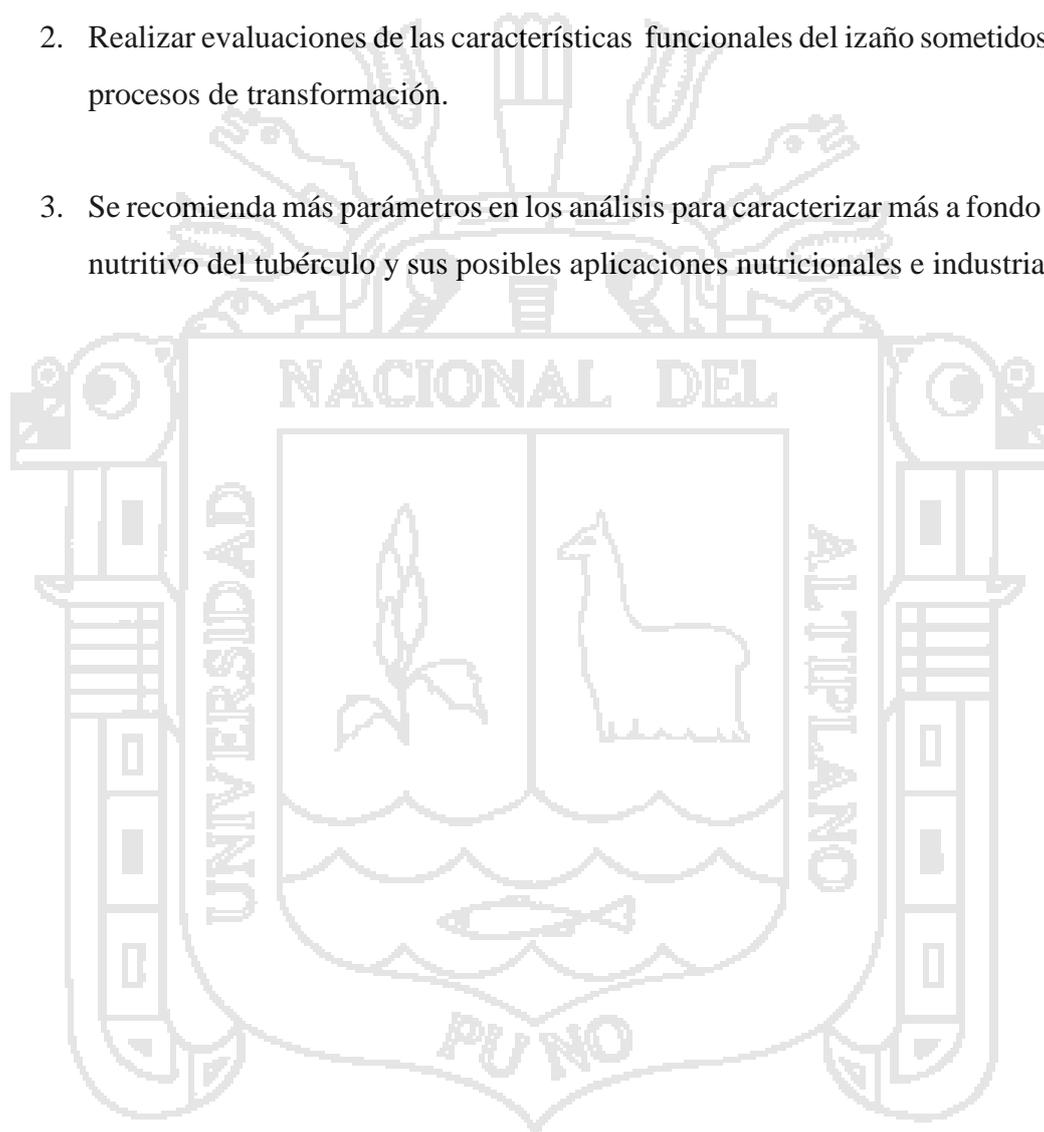
Fuente: Elaboración Propia (2010).

V. CONCLUSIONES

1. Para evaluar el valor nutricional, de la materia prima izaño fresco se ha hecho un muestreo al azar, para hacer el análisis respectivo se han tomado tres muestras para su respectivo análisis de lo cual se determino los siguientes resultados: humedad 85.63%, proteína 1.7%, grasa 0.8%, carbohidratos 10.5%, fibra 0.87%, ceniza 0.5%, la Vitamina C 85.5 mg/100g en materia seca y pH de 4.2 expresado en acido oxálico. En el Tubérculo izaño no fue sometido a ningún tipo de tratamiento.
2. Para evaluar el valor nutricional en el proceso de deshidratado se han tratado a diferentes temperaturas (40°C, 50°C y 60°C), de los cuales analizando estadísticamente la Vitamina C a disminuido significativamente. En este caso el promedio de contenido de Vitamina C para la Temperatura 40°C es 42.3 mg/100g, a temperatura de 50°C es 48.7 mg/100g y para la temperatura de 60°C es 52 mg/100g. En cambio las propiedades físico-químicas ha incrementado entre los tratamientos a diferentes temperaturas y tiempo de deshidratación, El pH ha variado considerablemente entre los tratamientos como a para izaño fresco es 4.2, cuando ha sido sometido a proceso de deshidratación es 5.4. Esto significa la acidez en el tubérculo izaño es más fuerte, en cambio la acidez en izaño deshidratado es menos tiende a acercarse a punto neutro.
3. La evaluación nutricional en el proceso de Cocción-extrusión se ha determinado el izaño que ha sido tratado a temperatura de 60°C porque es el tratamiento que ha sufrido menos variación de contenido de Vitamina C. en este caso la composición físico química en cuanto a la proteína a incrementado significativamente al igual el carbohidrato y ceniza, en este proceso ha disminuido el contenido de humedad y fibra. El contenido de Vitamina C ha disminuido a 36.6 mg/100g esto quiere que la Vitamina C sometidos a temperaturas altas disminuye su contenido. El pH en el proceso de cocción-extrusión tiende a acercarse a punto neutro en este caso es 6 de pH.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar las evaluaciones de los azúcares reductores totales como también las vitaminas como: Tiamina, Riboflavina, Niacina y otros.
2. Realizar evaluaciones de las características funcionales del izaño sometidos a otros procesos de transformación.
3. Se recomienda más parámetros en los análisis para caracterizar más a fondo el valor nutritivo del tubérculo y sus posibles aplicaciones nutricionales e industriales.

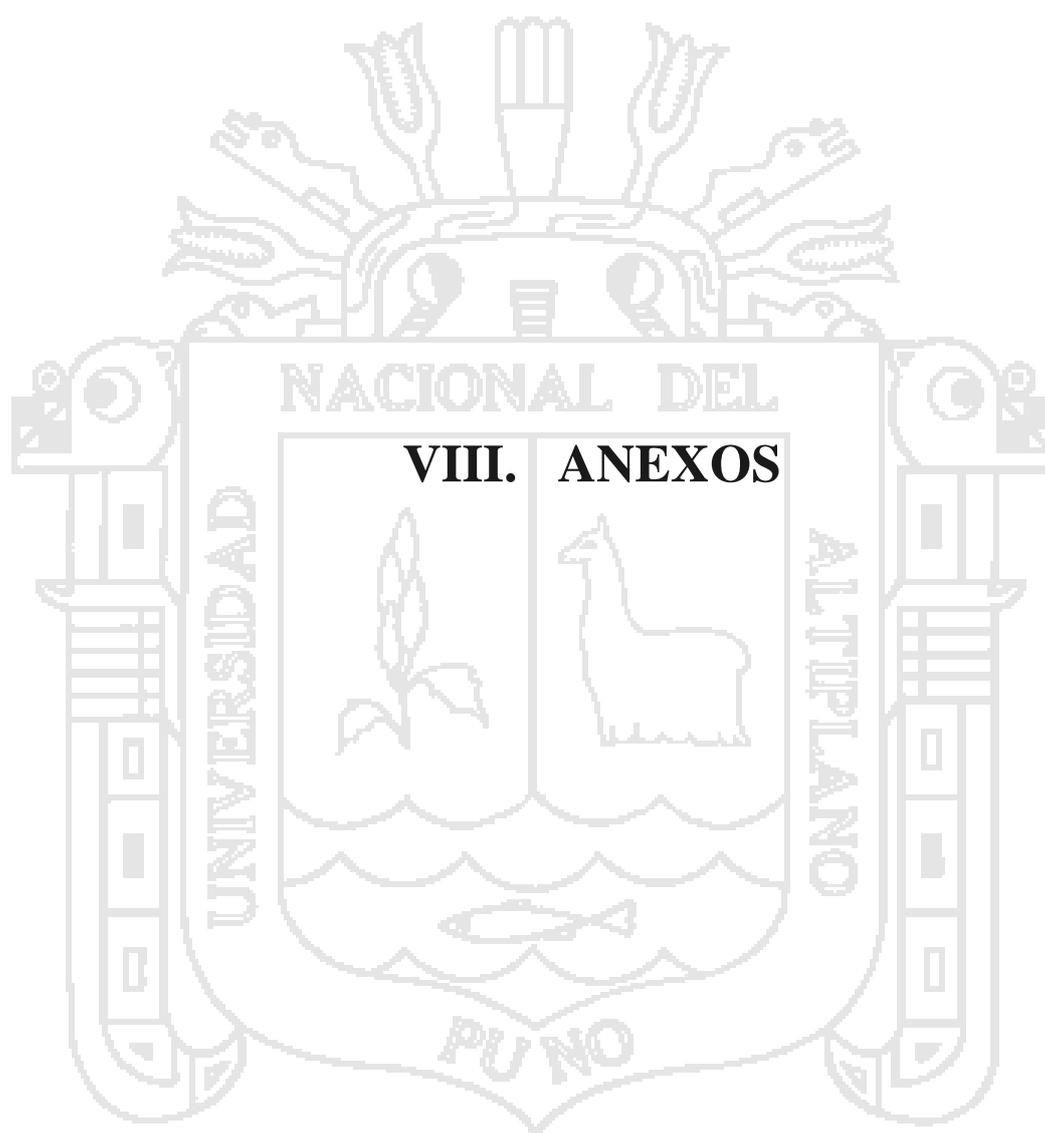


VII. BIBLIOGRAFIA

1. Abd Karim, A.; Norziah, M.H. and Seow, C. C. (2000). "Methods for the study of starch retrogradation" (Review). *Food Chemistry*. 71: 9 – 36.
2. Blanshard and Bowler. (1987). "Morphology and composition of starch". En *Starch: Properties and Potential*. Ed T Galliard. Critical Reports on Applied Chemistry John Willey & Sons Chichester-GB. Cap: 3, p: 64.
3. Boletín Agrario del Ministerio de Agricultura. (2010).
4. Castro, H. (1985). *Secado de Tubérculos Andinos*. Tesis UNA-PUNO.
5. Cheftel. (1987). *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de alimentos*. Editorial Acribia, Zaragoza – España.
6. Cortez, H. (1985). Alcances de la investigación en tres tubérculos andinos, oca, olluco, izaño. En: *Avances de la Investigación en Tubérculos Andinos*, INIPA, Lima.
7. Clair, B.; Steven, J.; Folkman, L (1987). "Fundamentos de la Ingeniería de Alimentos".
8. Collazos, C. (1975). "La Composición de los Alimentos Peruanos". Quinta Edición Ministerio de Salud. INS, Lima – Perú.
9. Esther, B. (1990). *Tabla de Composición de Alimentos Industrializados* MINSALIMA Lima- Peru.
10. FAO, (2002). *Cultivos andinos (CD Rom)*. Editores: J. Izquierdo, A. Mujica, E. Jacobsen, J.P. Marathe y C. Morón. Santiago de Chile.
11. Geankoplis, (1982). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Editorial Continental S.A. México.
12. González, R.J.; Torres, R. L.; De Greef, D.M. (2002). "Extrusión-Cocción de Cereales". *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 36(2): 104-115.
13. Guy, R. (2001). "Materias primas para la cocción por extrusión". En *Extrusión de los alimentos*, Cap 2, Editor Guy, R, Acribia SA, Zaragoza.

15. Harper, J.M. (1981). "Extrusion Food". CRC. Press. Boca Ratón, Florida. pp: 127-163.
16. Holdsworth, S. (1988). "Conservación de frutas y Hortalizas". Editorial Acribia, S.A. Zaragoza – España.
17. Incahuanaco, Y. W. (2003) Evaluación de Parámetros en el Proceso de Cocción-Extrusión, Secado y Harina Instantánea de Izaño. Tesis UNA-PUNO
18. Jean, A.; Régine, F. (1990). "La Ciencia de los Alimentos de la A a la Z". Editorial Acribia. S.A. Zaragoza – España.
19. Kokini, J. *et al* (1992a). "The role of rheological properties on extrudate expansion". En: Food Extrusion Science and Technology. Ed Kokini, J, Ho Ch. T. Karwe. M: Marcel Dekker; NY. p: 631-652.
20. León, J. (1964). Plantas alimenticias andinas. Boletín Técnico # 6. IICA, Zona andina. Lima.
21. Lescano, J. (1989) "Los cultivos Andinos y la Nutrición, En: Curso cultivos Alto Andinos Proyecto Desarrollo Agrícola base Micro riego y áreas a secano" CORDEPO – PNUD. Potosí – Bolivia.
22. Lescano, J (1994). " Genética y Mejoramiento en Cultivos Andinos Quinua, Cañihua, Tarwi, Kiwicha, Papa Amarga,, olluco, Izaño y Oca" Programa Interinstitucional de Waru – Waru convenio INADE / PELT – COTESU Puno – Perú.
23. Morales, V. (1988). "Los Tuberculos Andinos". 2da edición.
24. Noratto, G.; Cisneros-Zevallos, L. & MO, H. (2004). *Tropaeolum tuberosum* (izaño) extracts suppress tumor cell proliferation. *FASEB Journal*, 18(5), A886, 2004.
25. Nuñez, C. (1991). Deshidratación de alimentos (Food Deshydration). UNA LA MOLINA, Lima – Perú.
26. Ocon y Tojo, (1986). Problemas de Ingeniería Química. Ediciones Aguilar. Madrid – España.
27. Osella, C.A. (2000). Tesis de Magíster en Ciencias y Tecnología de Alimentos." Pan sin gluten: Influencia de la composición y de la historia térmica de los constituyentes sobre sus propiedades termofísicas". UNL-FIQ-ITA.

28. Ospina, J. (1995). "Enciclopedia de Producción agrícola Volumen II". Editorial Terranona – Ecuador.
29. Paul, S.; Dennis, R. (1998) "Introducción a la Ingeniería de los Alimentos". Editorial Acribia, S.A. Zaragoza – España.
30. Pirone B.N. *et al* (2005); Evolución de la concentración de ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación de frutos de la rosa mosqueta (*Rosa eglanteria L.*). Argentina
31. Ramallo, R. *et al.* (2004). Glucosinolatos del izaño, contenido cualitativo y cuantitativo y cambios después de la madurez. En: XI Congreso Internacional de Cultivos Andinos, Libro de resúmenes. Cochabamba, Bolivia.
32. Robutti, J.L.; Borrás, F.S.; González, R.J.; Torres, R.L.; De Greef, D.M. (2002). "Endosperm properties and Extrusion cooking behaviour of maize cultivars". *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 35: 663-669.
33. Roberfroid MB. (1996). Funtional Effects Of Food Components And The Gastrointestinal System: Chicory Fructooligosaccharides.
34. Rokey G. (1995). Tecnología de la extrusion e implicaciones nutricionales. Barcelona.
35. Salas Domínguez S. (1998). Avances en la investigación en posproducción de alimentos andinos en el marco de condesan. Centro Internacional de la Papa. Apdo. 1558, Lima (Perú).
36. Tapia, M. (1997). Cultivos Andinos. Lima- Peru.



ANEXO 01

CUADRO ORDENADO DE RESULTADOS

Tratamientos	Fresca	Temperaturas de deshidratación			T° Extrusión	
		40°C	50°C	60°C	140°C	
1	85,2	42,3	48,2	52	37	
2	85,9	42,7	48,7	52,4	36,4	
3	85,5	42,3	48,8	51,7	36,6	
4	85,4	41,9	49,1	51,9	36,4	
Σ	342	169,2	194,8	208	146,4	T 1060,4
$n_i = r$	4	4	4	4	4	n 20
Medias \bar{x}_i	85,5	42,3	48,7	52	36,6	X 53,02

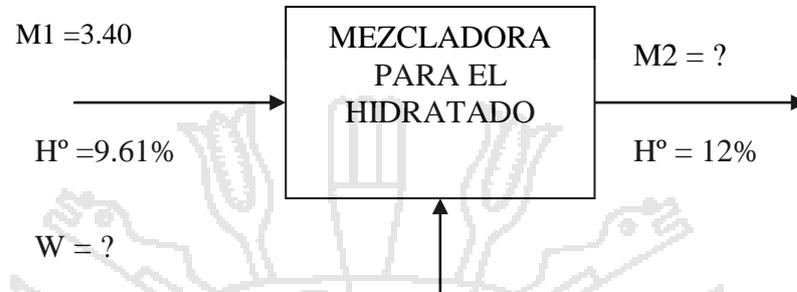
	G.L.	SC	CM	F.C.	Ft
					5%
Tratamientos	4	5836,752	1459,188	14591,88	**
Error	15	1,5	0,1		
Total	19	5838,252			

C.V.	1
------	---

ANEXO 2

Balance de materia en el proceso de hidratado

- Para 12% de humedad.



En la alimentación:

$$X1 = X_1 / 1 - X_1$$

$$X1 = 0.0961 / 1 - 0.0961 = 0.106 \text{ Kg de agua / Kg de sólido seco.}$$

En la salida:

$$X2 = X_2 / 1 - X_2$$

$$X2 = 0.12 / 1 - 0.12 = 0.136 \text{ Kg de agua / Kg de sólido seco.}$$

Cantidad de sólido seco que sale de la hidratadora:

$$M_{s.s} = M_1 / 1 + X1$$

$$M_{s.s} = 3.40 / 1 + 0.106 = 3.07 \text{ Kg de sólido seco.}$$

La cantidad de agua que debe ingresar es:

$$W = M_{s.s} (X1 - X2)$$

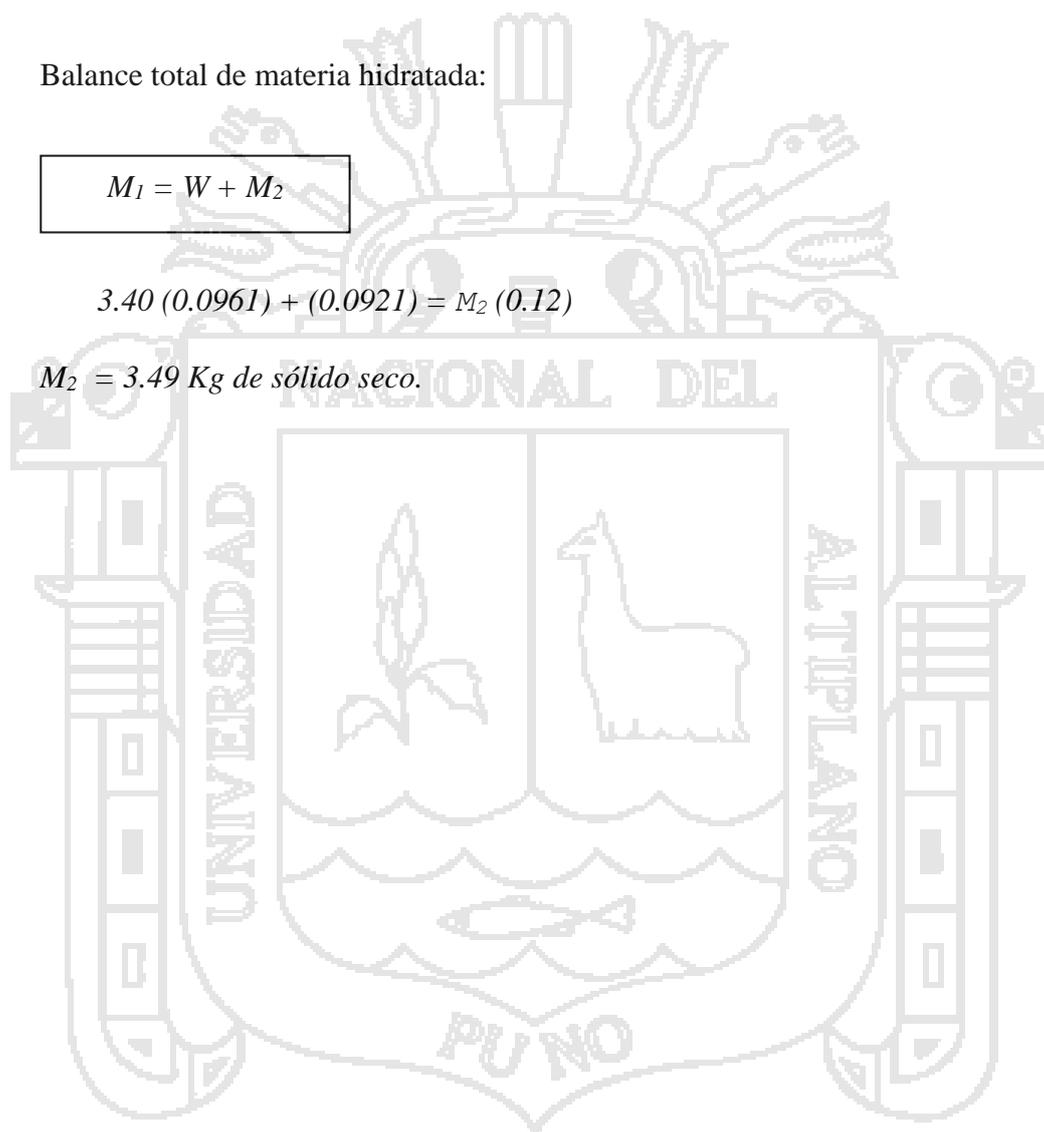
$$W = 3.07(0.106 - 0.136) = - 0.0921 \text{ Kg de agua}$$

Balance total de materia hidratada:

$$M_1 = W + M_2$$

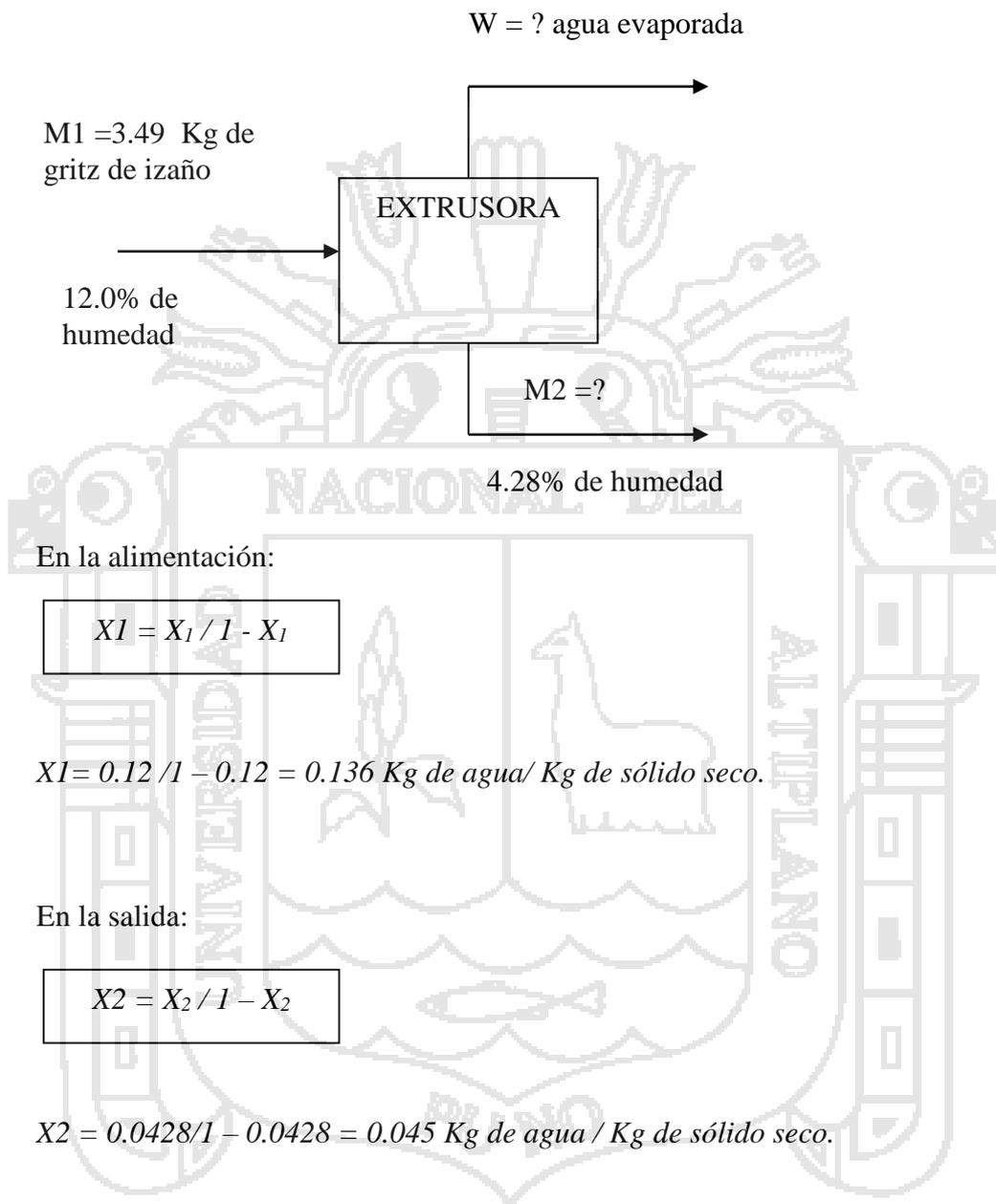
$$3.40 (0.0961) + (0.0921) = M_2 (0.12)$$

$$M_2 = 3.49 \text{ Kg de sólido seco.}$$



ANEXO 3

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE EXTRUIDO



Cantidad de sólido seco que sale de la extrusora:

$$M_{s.s} = M_1 / I + X1$$

$$M_{s.s} = 3.49 / 1 + 0.136 = 3.07 \text{ Kg de sólido seco.}$$

La cantidad de agua eliminada es:

$$W = M_{s.s} (X1 - X2)$$

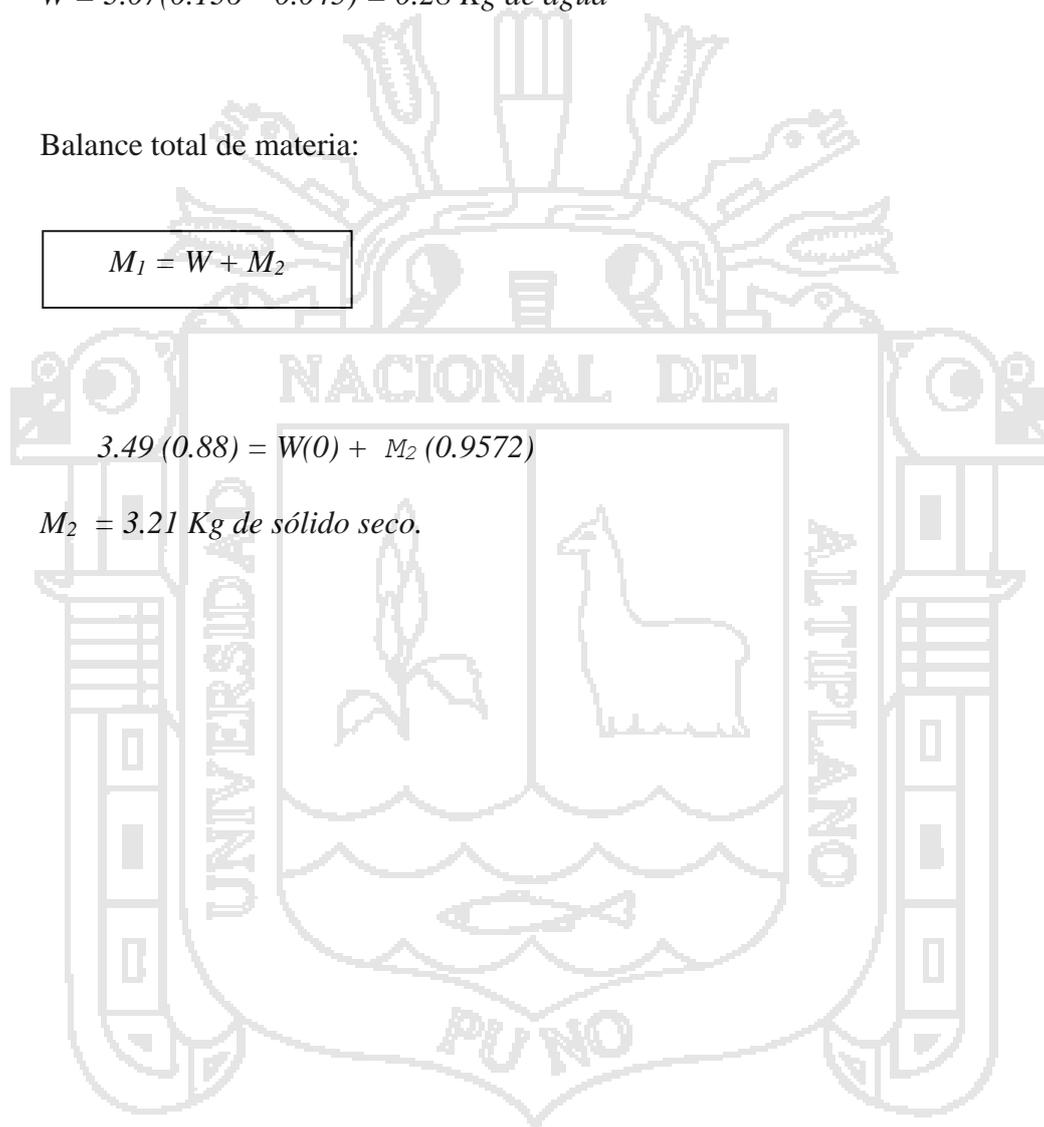
$$W = 3.07(0.136 - 0.045) = 0.28 \text{ Kg de agua}$$

Balance total de materia:

$$M_1 = W + M_2$$

$$3.49 (0.88) = W(0) + M_2 (0.9572)$$

$$M_2 = 3.21 \text{ Kg de sólido seco.}$$





I. MATERIA PRIMA ISAÑO



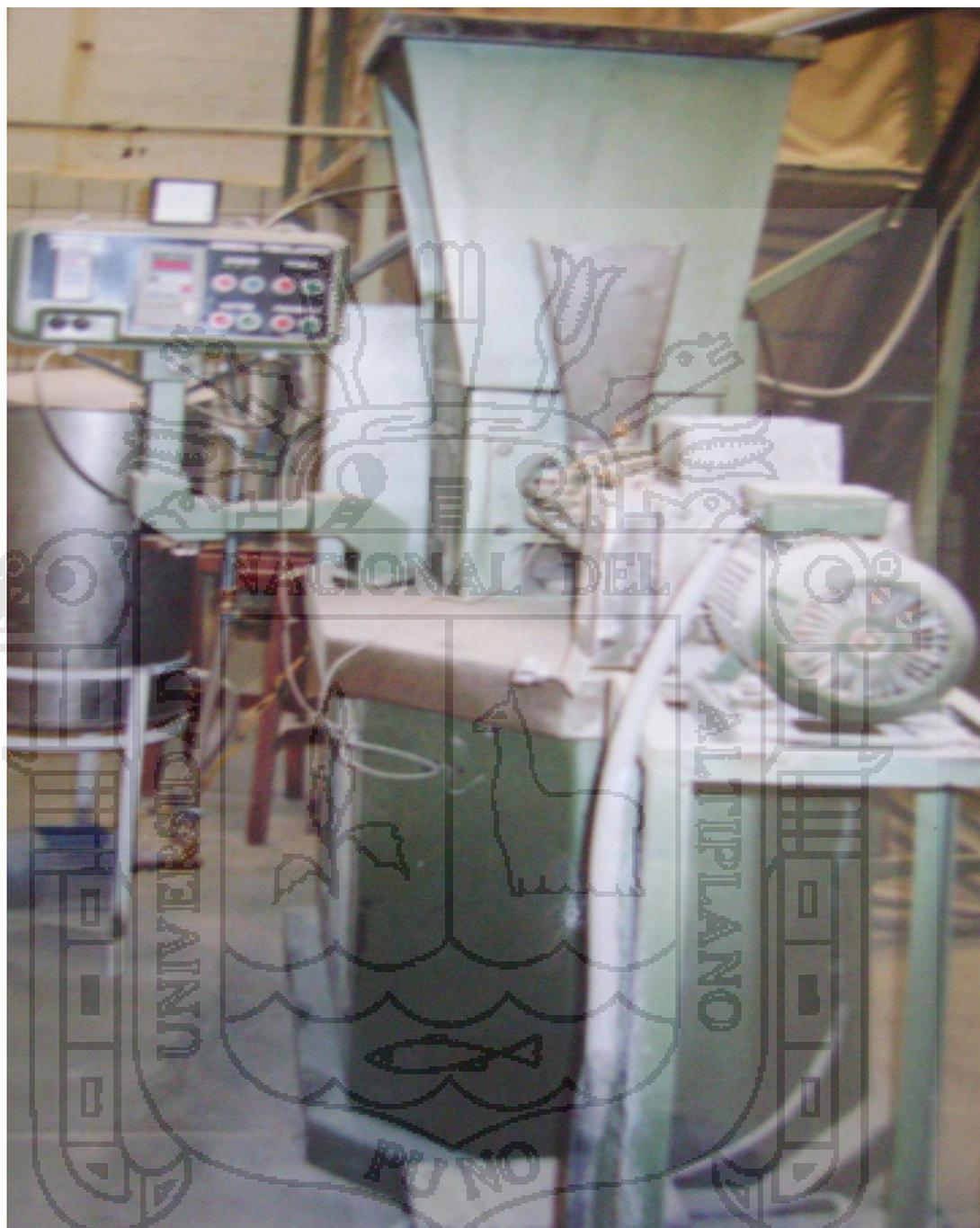
Fotos tomadas en la parte experimental.

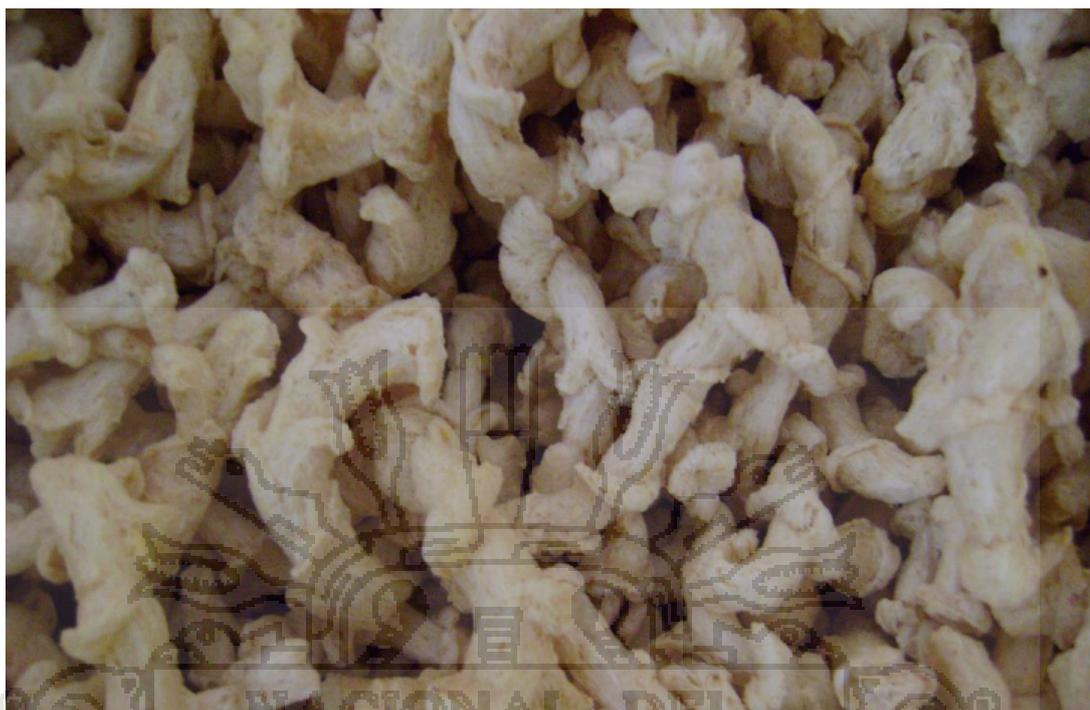
II. PROCESO DE DESHIDRATADO DE ISAÑOS CORTADOS.



Fotos tomadas en la parte experimental.

III. PROCESO DE EXTRUIDO.





Fotos tomadas en la parte experimental.