

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**



**“INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS DE DILUCION Y  
SECADO POR ATOMIZACION EN LOS COMPONENTES  
FUNCIONALES DEL CHACKO GRIS (*Montchack*)  
INSTANTANEO”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. EDIN NESTOR CANA VILLANUEVA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO – PERU**

**2015**

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

“INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS DE DILUCION Y SECADO PO  
ATOMIZACION EN LOS COMPONENTES FUNCIONALES DEL CHAC  
GRIS (*Montchack*) INSTANTANEO”

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. EDIN NESTOR CANA VILLANUEVA

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

Ph. D. Juan Marcos ARO ARO

PRIMER MIEMBRO

Mg. Sc. Genny Isabel LUNA MERCADO

SEGUNDO MIEMBRO

Ing. Whany QUISPE CHAMBI

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Saire Roenfi GUERRA LIMA

ASESOR DE TESIS

Lic. Jesús Deyby HANCO CANTANI

PUNO – PERU

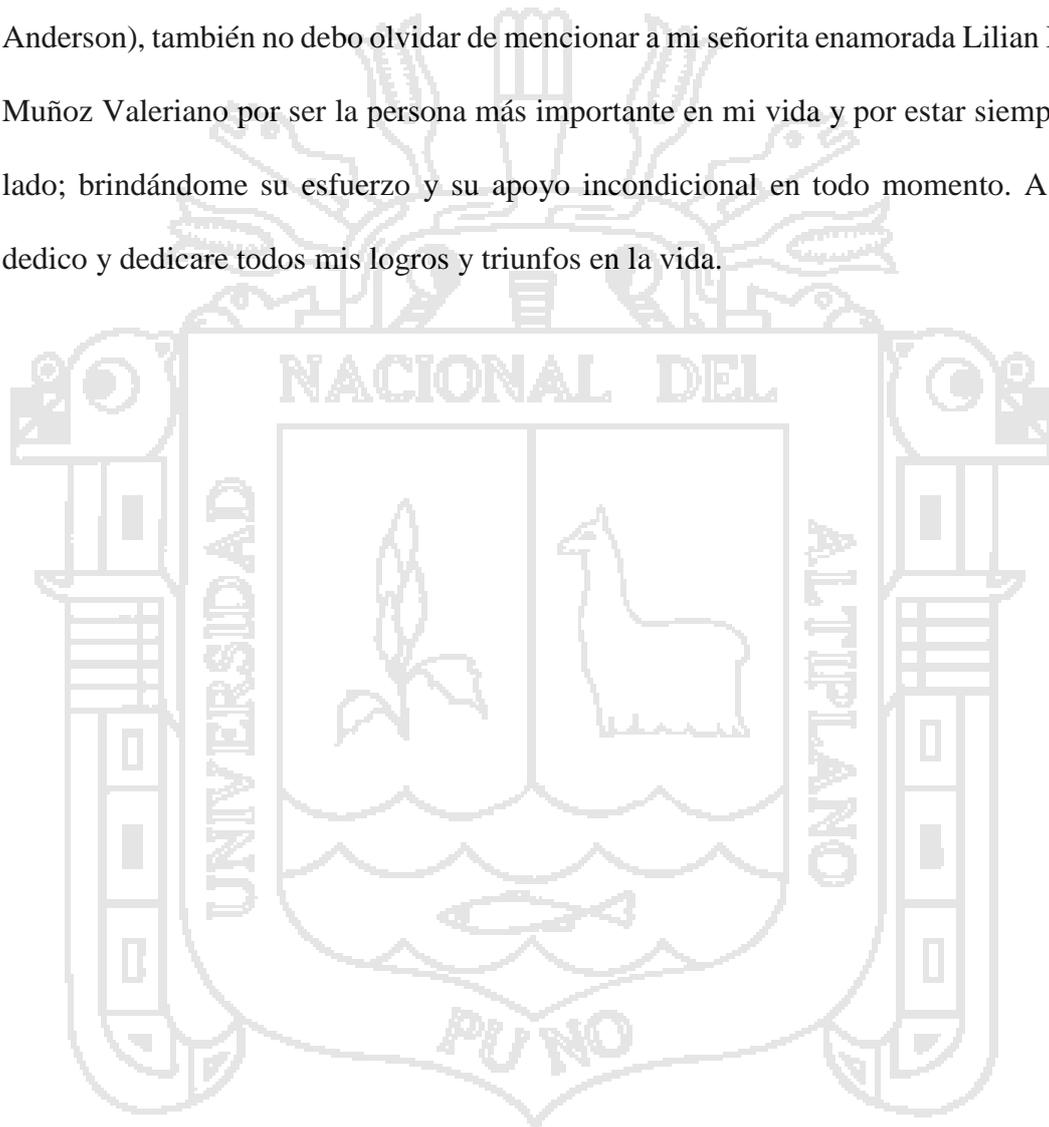
2015

ÁREA: Ingeniería y tecnología

TEMA: Propiedades físicas y estructurales

## DEDICATORIA

La presente investigación se la dedico a mi querida madre Claudia Villanueva Cantani, a mi señora abuela Francisca Cantani Mayta, a mis hermanos (Melanie Joyce y Anthony Anderson), también no debo olvidar de mencionar a mi señorita enamorada Lilian Brígida Muñoz Valeriano por ser la persona más importante en mi vida y por estar siempre a mi lado; brindándome su esfuerzo y su apoyo incondicional en todo momento. A ella le dedico y dedicare todos mis logros y triunfos en la vida.



## AGRADECIMIENTOS

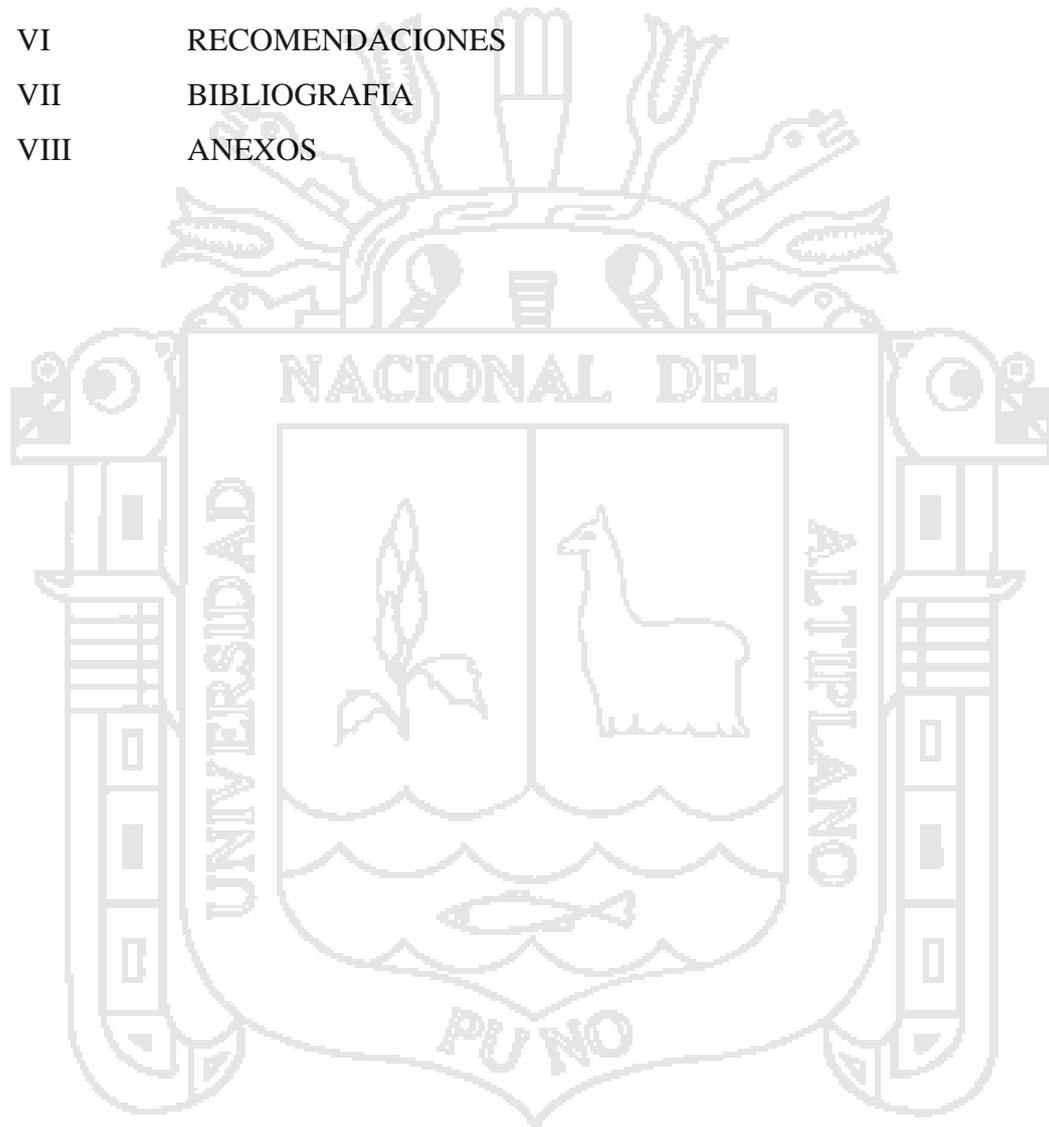
- A nuestra Alma Mater la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.
- A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por sus enormes aportes en nuestra formación profesional.
- Al Ing. Saire Roenfi Guerra Lima, director de tesis por su comprensión y acertada dirección en la culminación del presente trabajo.
- Al Lic. Jesús Deyby Hanco Cantani por el asesoramiento en la ejecución del presente trabajo.
- Al Ph. D. Juan Marcos Aro Aro, Mg. Sc. Genny Isabel Luna Mercado e Ing. Whany Quispe Chambi, miembros del jurado por su acertada contribución en la culminación del presente trabajo.
- Agradecemos de forma especial mis amigos (Wilmer Pacori, Vladimir, Jorge, Oliver, Alex y Wilmar) y amigas (Sara, Elizabeth, Jenny y Verónica) de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, porque siempre me dieron la mano en cada momento y me alentaron de forma incondicional para la realización del presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
I INTRODUCCION	12
II REVISION DE LITERATURA	14
2.1 LA ARCILLA GRIS O CHACKO GRIS	14
2.1.1 Usos del chacko gris	14
2.1.2 Fuentes de minerales del chacko gris	15
2.1.3 Componentes del chacko gris	16
2.1.4 Composición química del chacko gris	17
2.1.5 Propiedades terapéuticas del chacko gris	17
2.2 ALIMENTOS FUNCIONALES	19
2.2.1 Tipos de alimentos funcionales	19
2.2.2 Los alimentos funcionales y la salud	20
2.2.3 Tecnología en el desarrollo de los alimentos funcionales	20
2.2.4 Elementos traza	21
2.3 OPERACIONES UNITARIAS	23
2.3.1 Solubilidad	23
2.4 SECADO	24
2.4.1 Secado por atomización	25
2.4.2 Factores que afectan las propiedades de los productos secados por atomización	27
2.4.3 Factores que determinan la calidad de los productos atomizados	31
2.4.4 Aplicaciones del secado por atomización	31
2.5 EVALUACION DE LA CALIDAD DESDE EL CONSUMIDOR	31
2.5.1 Analisis sensorial o evaluación sensorial	32
2.5.2 Utilidad del análisis sensorial	32
2.5.3 Propiedades sensoriales	33
2.5.4 Cantidad de muestra	34

III	MATERIALES Y METODOS	35
3.1	LOCALIZACION DEL ESTUDIO	35
3.2	MATERIAL EXPERIMENTAL	35
3.3	MATERIAL DE LABORATORIO	36
3.3.1	Instrumentos de laboratorio	36
3.3.2	Equipos	36
3.4	METODOS	37
3.4.1	Elaboración del chacko gris instantáneo	37
3.4.2	Factores en estudio	38
3.4.3	Variables de respuesta	39
3.4.4	Método para el análisis fisicoquímico	39
3.4.5	Métodos para el análisis químico proximal	40
3.4.6	Evaluación de los atributos sensoriales	41
3.4.7	Evaluación estadística del tratamiento de dilucion	42
3.4.8	Evaluación estadística del tratamiento de secado por atomización	42
3.4.9	Evaluación estadística del análisis sensorial del chacko gris	43
3.5	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	44
3.5.1	Caracterización de la materia prima	44
3.5.2	Tratamiento de dilucion	44
3.5.3	Tratamiento de secado por atomización	44
IV	RESULTADOS Y DISCUSIONES	46
4.1	CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA	46
4.1.1	Contenido de minerales en el chacko gris	46
4.1.2	Analisis de estructura del chacko gris en su estado natural	48
4.2	INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS DE DILUCION EN LA EXTRACCION DE LOS COMPONENTES FUNCIONALES DEL CHACKO GRIS	49
4.2.1	Tratamiento de dilucion	49
4.3	INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS DE SECADO POR ATOMIZACION SOBRE LAS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS Y SENSORIALES DEL CHACKO GRIS EN POLVO	51
4.3.1	Humedad	51

4.3.2	Rendimiento	54
4.3.3	Tamaño de partícula	57
4.3.4	Comparación de la textura entre el producto y la materia prima	60
4.3.5	Análisis sensorial del chacko instantáneo	61
4.4	PROPIEDADES TERAPEUTICAS DE LOS COMPONENTES FUNCIONALES DEL CHACKO GRIS INSTANTANEO	64
V	CONCLUSIONES	66
VI	RECOMENDACIONES	67
VII	BIBLIOGRAFIA	68
VIII	ANEXOS	74



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.	
<b>Tabla 1</b>	Composición textural del chacko gris (base de cálculo 100 gr).	16
<b>Tabla 2</b>	Composición química del chacko gris (base de cálculo 100 gr).	17
<b>Tabla 3</b>	Influencia de las variables del proceso de secado por atomización.	30
<b>Tabla 4</b>	Contenido de minerales en el chacko gris (base 100gr) ( $\pm$ DE, n = 3).	48
<b>Tabla 5</b>	Rendimientos promedios obtenidos de la extracción de los componentes funcionales del chacko gris según parámetros de dilución ( $\pm$ DE, n = 3).	50
<b>Tabla 6</b>	Contenido de minerales de las muestras atomizadas (base 100gr) ( $\pm$ DE, n = 3).	51
<b>Tabla 7</b>	Humedad promedio de las pruebas de secado por atomización. ( $\pm$ DE, n = 3).	53
<b>Tabla 8</b>	Rendimiento promedio de las pruebas de secado por atomización. ( $\pm$ DE, n = 3).	56
<b>Tabla 9</b>	Distribución del tamaño de partículas.	60
<b>Tabla 10</b>	Contenido de componentes funcionales del chacko gris en polvo ( $\pm$ DE, n = 3).	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> Secado por atomización. (Spray Process, 2012).	26
<b>Figura 2</b> Etapas del secado por atomización (Niro Atomizer, 2010).	27
<b>Figura 3</b> Metodología experimental para deshidratar el chacko gris por atomización.	37
<b>Figura 4</b> Flujo de operaciones para la elaboración del chacko gris instantáneo.	45
<b>Figura 5</b> Aspecto general del chacko gris en su estado natural visto por SEM (escala: 50 $\mu$ m).	48
<b>Figura 6</b> Influencia de la temperatura de alimentación y el caudal de alimentación sobre la humedad del producto.	53
<b>Figura 7</b> Influencia de la temperatura de alimentación y el caudal de alimentación sobre el rendimiento del producto.	56
<b>Figura 8</b> a) Aspecto general del chacko gris visto por SEM (escala: 50 $\mu$ m), y b) Aspecto general del chacko gris atomizado visto por SEM (escala: 50 $\mu$ m).	60
<b>Figura 9</b> Promedios de puntuación de la evaluación sensorial del chacko instantáneo (diluido).	63

## ABREVIATURAS

<b>Tr</b>	: Tratamiento.
<b>TD</b>	: Temperatura de dilución.
<b>tD</b>	: Tiempo de dilución.
<b>TA</b>	: Temperatura de alimentación.
<b>CA</b>	: Caudal de alimentación.
<b>%</b>	: Porcentaje.
<b>Lt/h</b>	: Litros por hora.
<b>Med</b>	: Medida.
<b>gr</b>	: Gramos.
<b>mg</b>	: Miligramos.
<b>°C</b>	: Grados centígrados.
<b>µm</b>	: Micrómetro.
<b>µ</b>	: Micra.
<b>Nº</b>	: Numero.
<b>H</b>	: Altura.
<b>m.</b>	: Metros.
<b>Pot</b>	: Potencia.
<b>Ec</b>	: Ecuación.
<b>ml</b>	: Mililitros.
<b>min</b>	: Minutos.
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	: Metros cúbicos por hora.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación permitió determinar la influencia de los parámetros de dilución y secado por atomización en los componentes funcionales del chacko gris (*Montchack*) instantáneo. De las pruebas realizadas con el objeto de mejorar la extracción de los componentes funcionales del chacko gris (materia prima), los mejores resultados se obtuvieron al trabajar con la temperatura de dilución de 50°C y tiempo de dilución de 60min. Bajo estas condiciones se logró el mejor rendimiento ( $79.58 \pm 0.85\%$ ) y la mayor concentración de componentes funcionales. Se utilizó el método estadístico Diseño Completo al Azar (DCA) con arreglo factorial 2 x 2. El análisis de varianza (ANVA) demostró que existe influencia significativa de ambos factores así como de sus interacciones. La prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) indicó que la temperatura de dilución de 50 °C y el tiempo de dilución de 60 min influyeron en las características fisicoquímicas y sensoriales del producto obtenido. Se optimizó el proceso de secado por atomización al trabajar con la temperatura de alimentación de 60°C y caudal de alimentación de 1.8 lt/h, obteniendo un polvo con  $5.71 \pm 0.03\%$  de humedad, rendimiento de  $77.82 \pm 0.88\%$ , partícula en forma esférica, distribución granular, mayor aceptabilidad del producto y mayor concentración de componentes funcionales (óxido de silicio  $41.52 \pm 0.42\%$ , óxido de aluminio  $35.89 \pm 0.15\%$ , óxido de hierro  $0.18 \pm 0.01\%$ , óxido de calcio  $3.02 \pm 0.05\%$ , óxido de magnesio  $3.88 \pm 0.08\%$ , óxido de sodio  $0.41 \pm 0.04\%$  y óxido de potasio  $0.84 \pm 0.07\%$ ).

**Palabras clave:** chacko gris, dilución, atomización, componentes funcionales.

## I. INTRODUCCIÓN

El chacko gris (*Montchack*), es una arcilla orgánica comestible por el contenido en su bioquímica de minerales indispensables para todo ser vivo, desempeñando importantes funciones en el cuerpo. (Barrio, 2011).

El consumo del chacko gris se realiza con fines terapéuticos en el tratamiento de afecciones estomacales. El contenido de minerales en el chacko gris (Silicio, Aluminio, Potasio, Magnesio, Sodio, Calcio y Hierro) contribuyen en la protección de la mucosa intestinal, regeneran el epitelio gástrico y favorecen el proceso digestivo. (Aranibar, et al. 2009).

Uno de los procedimientos más populares para el consumo del chacko gris es remojar en agua por un promedio de 20 minutos, remover, dejar reposar por una 10 minutos y consumirlo. Este proceso se realiza con la finalidad de extraer los componentes funcionales del chacko gris de la arcilla (limo y arena). (Albela, 2012). Este proceso es lento y limita su consumo.

Este trabajo propone investigar de qué manera influyen los parámetros de dilución (temperatura y tiempo) y los parámetros del secado por atomización (temperatura de alimentación y caudal de alimentación), en la extracción de los componentes funcionales del chacko gris (*Montchak*), tratando de dilucidar la validez de los efectos de transformación en sus características de alimentos funcionales (características físicoquímicas y sensoriales), teniendo en cuenta que las variaciones en las condiciones de procesamiento produce efectos sobre la calidad de los productos.

Hasta la fecha aún no hay publicaciones acerca del comportamiento del chacko gris en el proceso de dilución y secado por atomización. Una clara comprensión de los

efectos del proceso de dilución y secado por atomización sería fundamental para el control de calidad de la materia prima y el desarrollo de nuevos productos.

Para materializar el estudio bajo el universo de investigación del chacko gris, se planteó:

### **Objetivo General**

Caracterizar y Determinar la influencia de los parámetros de dilución y secado por atomización en los componentes funcionales del chacko gris instantáneo.

### **Objetivos Específicos**

1. Caracterizar el contenido de minerales y su estructura del chacko gris, del distrito de Asillo, utilizando Espectrofotómetro de rayos ultravioleta infrarrojo (UV) (IR) y Microscopio electrónico de barrido (SEM).
2. Evaluar la influencia de los parámetros de dilución en la extracción de los componentes funcionales del chacko gris.
3. Evaluar la influencia de los parámetros de secado por atomización sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del chacko gris en polvo.
4. Determinar las propiedades terapéuticas de los componentes funcionales del chacko gris instantáneo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. LA ARCILLA GRIS O CHACKO GRIS

En el Perú, tenemos la bendición de contar con la arcilla de hidralgiritita (silicato de aluminio hidratado), llamada chaco por los nativos quechuas de Puno, del distrito de Asillo. Esta arcilla fue consumida históricamente por los locales, quienes hasta hoy aderezan las papas con una salsa de chaco y sal. No es solo una medicina incuestionable del altiplano, sino que también forma parte de la canasta diaria de alimentos. (Browman, 2013).

Aranibar, García y Suarez (2008), mencionan el chacko gris es una arcilla orgánica comestible, que ha sido encontrado en la sierra sur, mayormente en el departamento de Puno, en los distritos de Asillo, Acora, Azángaro y Tiquillaca, y la denomina 3A-T.

Chacón (2011), menciona, en el altiplano al chaco se le conoce con los siguientes nombres según el lugar donde se encuentre: chiquiche, chaqo, chacko, chachako, pasa, pasalla, ñeke, kollpa, lillu, llinqui, ñinki, etc.

#### 2.1.1. Usos del chacko gris

Ramírez (2010), menciona el chacko gris tradicionalmente, se emplea, para tratar las úlceras, la acidez estomacal, contra los parásitos y como emplasto externo. Esta arcilla realiza una gradual higiene intestinal, desintoxica y a la vez mineraliza.

Barrio (2009), menciona que el chacko gris se usa exitosamente en el tratamiento de diarreas infecciosas y otros tipos de diarreas agudas, es sumamente alcalino y rápidamente puede neutralizar la acidez estomacal y puede usarse como medicina de primeros auxilios en casos de ardor epigástrico.

Albela (2012), menciona el chacko gris al igual que el bicarbonato de sodio y bicarbonato de Potasio, combinación conocida como Alka-setzer o Eno, es altamente alcalinizante pero adicionalmente ofrece otros beneficios.

Ticona (2011), menciona el chacko gris reduce la inflamación, estimula las funciones de la piel, es un potente cicatrizante, ralentiza el deterioro físico y el envejecimiento, favorece la eliminación del ácido úrico y tiene efecto refrescante, relajante y sedante. En suma el chacko gris previene, cura, desconggestiona, alivia, desinflama, tonifica, calma, cicatriza, purifica, mineraliza, desinfecta y revitaliza el organismo.

### **2.1.2. Fuente de minerales del chacko gris**

Rodenas (2008), menciona uno de los factores que hace del chacko gris un elemento interesante desde el punto de vista terapéutico es el aporte al organismo de minerales cuando se utiliza externamente (como cataplasma, por ejemplo) o internamente (disuelta en agua y bebida).

- El alto contenido de óxido de silicio, le imparte un elevado poder cicatrizante y también el color gris,
- El óxido de aluminio le imparte la propiedad antiácida, absorbente y astringente, el cual se emplea en la ulcera péptica,
- El óxido de calcio tiene propiedades antidiarreicas,
- El óxido de magnesio tiene propiedades antiácidas y laxantes.
- El óxido de sodio regula la presión osmótica.

El chacko gris especialmente ingerido presenta otras cualidades que la convierten en una interesante alternativa que llegaría a complementar la nutrición humana, para recuperar o mantener la salud. (Quispe, Medina y Aranibar, 2007).

Porque contienen en su bioquímica los minerales y oligoelementos indispensables para todo ser vivo, desempeñando importantes funciones en el cuerpo:

- **Silicio:** Agente remineralizante y antitóxico importante en los terrenos óseo, vascular, nervioso y respiratorio que además actúa sobre las fibras elásticas y en la regeneración de los tendones y la piel.
- **Magnesio:** Fundamental para el crecimiento de los huesos al permitir la correcta asimilación del calcio, además el hígado, estimula la bilis, es antiséptico y antioxidante, activa la regeneración celular.
- **Calcio:** Importante en la formación y conservación de los huesos, dientes, tendones e imprescindible en la coagulación sanguínea y en la regulación del sistema nervioso.
- **Sodio:** Junto al potasio regula el equilibrio de líquidos en el organismo.
- **Potasio:** Complementa la función del sodio.
- **Hierro:** Produce glóbulos rojos en la sangre, favorece la circulación y oxigenación del organismo e interviene en la generación de energía.

### 2.1.3. Componentes del chacko gris

Los componentes que presenta el chacko gris, se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Componentes del chacko gris (base de cálculo 100 gr).

Componentes (Fracciones)	Porcentaje Promedio (%)
Arcilla (fluida)	82.4
Limo	5.7
Arena	11.9
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** (García, 1999).

### 2.1.4. Composición química del chacko gris

El chacko gris cuyo nombre científico es *Montchack*, presenta la siguiente composición química, se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Composición química del chacko gris (base de cálculo 100 gr).

Minerales		Contenido (%)
Oxido de Silicio	Si O <sub>2</sub>	77.38
Oxido de Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.94
Óxido de Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.32
Oxido de Calcio	Ca O	1.43
Oxido de Magnesio	Mg O	2.27
Oxido de Sodio	Na <sub>2</sub> O	1.91
Oxido de Potasio	K <sub>2</sub> O	0.60
Óxido de Azufre	S O <sub>3</sub>	0.01
Oxido de Titanio	Ti O <sub>2</sub>	0.12
Oxido de Manganeso	Mn O	0.003

**Fuente:** (Aranibar, García y Suarez, 2009).

### 2.1.5. Propiedades terapéuticas del chacko gris

Alma (2009), menciona aunque no sean desvelado sus mecanismos de acción está comprobado que el chacko gris posee numerosas propiedades terapéuticas, como:

- **Antiséptico y Antibiótico:** Impide la proliferación de bacterias, hongos, virus y otros elementos patógenos. Estimula y refuerza las defensas del organismo.
- **Desintoxicante:** Reduce la toxicidad de las sustancias dañinas y lo neutraliza mediante: a) La **absorción** de las impurezas contenidas en los

tejidos que son captadas, neutralizadas y drenadas, b) La **adsorción** de las toxinas que se encuentran en suspensión en los líquidos orgánicos.

- **Mantiene la salud del aparato digestivo:** Ingerida alivia los dolores estomacales, favorece la digestión, reabsorbe las fermentaciones, neutraliza el exceso de acidez, protege la mucosa gástrica, regula las funciones intestinales, reestructura la flora intestinal y la mucosa, favorece la evacuación de las heces y los gases. En caso de úlceras gástricas regenera los tejidos ulcerados y calma la irritación al neutralizar los ácidos estomacales.
- **Enriquece la sangre:** Depura y mejora la circulación de la sangre, aumenta la cantidad de glóbulos rojos y la enriquece hasta el punto de curar la anemia as resistente.
- **Ejerce acción reguladora:** Estimula y regula el funcionamiento de las glándulas endocrinas (tiroides, suprarrenal, sexuales, et.).
- **Revitaliza el organismo:** Lo remineraliza, tonifica y equilibra el metabolismo general.
- **Es catalizador:** Ayuda al cuerpo a absorber, transformar, sintetizar, fijar y asimilar las sustancias nutritivas de los alimentos.

#### 2.1.5.1. El porqué de sus propiedades terapéuticas del chacko gris

La arcilla chacko gris tiene enlaces iónicos no satisfechos en la superficie adherente externa y naturalmente busca satisfacer estos enlaces, encontrando uno con carga opuesta. Se conoce que las partículas de arcilla chacko gris llevan carga eléctrica negativa, mientras que las impurezas y toxinas llevan carga eléctrica positiva. (Gonzalo, 2000).

La manera en que actúa la arcilla es por medio de un doble proceso de absorción y adsorción. (Barrio, 2011). Estas dos palabras son parecidas pero su modo de actuar es diferente.

- En la **adsorción** una sustancia se adhiere en la superficie externa de la arcilla.
- El proceso de **absorción** es similar al de una esponja, basado en su micro-partícula que atrae diferentes clases de sustancias: gases, toxinas, bacterias, parásitos, etc., esta cualidad le permite captar elementos no utilizables en la digestión y productos de desasimilación, presentes tanto en líquidos orgánicos como en tejidos internos. Esto lo convierte en excelente depurativo y desparasitante.

## 2.2. ALIMENTOS FUNCIONALES

El alimento funcional (*Functional food*) se define: Cualquier alimento en forma natural o procesada, que además de sus componentes nutritivos contiene componentes adicionales que favorecen a la salud, la capacidad física y el estado mental de una persona. El calificativo de funcional se relaciona con el concepto bromatológico de "propiedad funcional", o sea la característica de un alimento, en virtud de sus componentes químicos y de los sistemas fisicoquímicos de su entorno, sin referencia a su valor nutritivo (Alvídrez, González y Jiménez, 2002).

### 2.2.1. Tipos de alimentos funcionales

Un alimento puede considerarse funcional si se demuestra satisfactoriamente que ejerce un efecto beneficioso sobre una o más funciones

selectivas del organismo, además de sus efectos nutritivos intrínsecos, de modo tal que resulte apropiado para mejorar el estado de salud y bienestar, reducir el riesgo de enfermedad, o ambas cosas. (Culebras, 2004).

A continuación se muestra los tipos de alimentos funcionales: Prebióticos, Probióticos, Vitaminas, Minerales y Antioxidantes. (Marti del Moral, 2004).

### **2.2.2. Los alimentos funcionales y la salud**

La ciencia de los alimentos funcionales se basa en la forma en que los nutrientes específicos y los componentes alimentarios afectan positivamente a las funciones selectivas (respuestas biológicas) del organismo. (Ashwell, 2002). De hecho, para ilustrar el concepto se puede recurrir a importantes áreas de la fisiología humana relacionadas con la ciencia de los alimentos funcionales:

- Crecimiento y desarrollo en la primera infancia.
- Regulación de los procesos metabólicos básicos.
- Defensa contra el estrés oxidativo.
- Fisiología cardiovascular.
- Fisiología gastrointestinal.
- Rendimiento y mejora del estado físico.

### **2.2.3. Tecnología en el desarrollo de los alimentos funcionales**

La ciencia de la nutrición ha dado grandes pasos en el último siglo en cuanto a la identificación de nutrientes e ingredientes con efectos específicos sobre la salud. Estas sustancias pueden obtenerse de materias primas e incorporarse a alimentos destinados a grupos específicos de consumidores. (Marti del Moral, 2004).

Por otra parte, si un componente natural produce un efecto negativo sobre la salud, puede eliminarse. (Mazza, 2000). La tecnología alimentaria puede aprovecharse para modificar la composición de los alimentos en dos aspectos principales: el enriquecimiento y la extracción.

- Enriquecimiento y restauración son términos ampliamente utilizados en tecnología alimentaria. Enriquecer un producto significa agregarle un nutriente para que éste alcance un nivel más elevado que el que normalmente tiene en ese alimento sin procesar. El término restauración se aplica al restablecimiento del nivel normal de nutrientes, por ejemplo, para compensar pérdidas causadas durante el procesamiento.
- Las tecnologías de extracción y separación se utilizan para la obtención de materias primas (compuestos funcionales) que ejercen un efecto positivo en la salud y el bienestar. Estos compuestos funcionales pueden así adicionarse a los productos alimenticios (adición) para el desarrollo de alimentos funcionales. Asimismo, estas tecnologías también pueden emplearse para eliminar un componente del alimento que interfiera con su valor nutricional óptimo (eliminación), y así conseguir un alimento más saludable.

#### **2.2.4. Elementos traza**

Los expertos de la Organización Mundial de la Salud, definen la esencialidad de un elemento de la siguiente manera: “un elemento se considera esencial para un organismo cuando la disminución de su ingreso, por debajo de cierto límite, o cuando el elemento es una parte integrante de una estructura orgánica (como una enzima) que desempeña una función vital en el organismo”. (Marino, 2009).

#### 2.2.4.1. Importancia de los Elementos Traza

- **Aluminio:** Se usa como antiácido en el tratamiento de úlceras gástricas. (Cerdeo, 2009). Según Álvarez, (2012), menciona las propiedades farmacológicas del hidróxido de aluminio y el hidróxido de magnesio. a) **Antiácido:** Los hidróxidos de magnesio y aluminio tienen acción antiácida, ambos reaccionan químicamente para neutralizar el ácido existente en el estómago. b) **Antidiarreico:** La propiedad de estreñimiento del hidróxido de aluminio ayuda a mejorar la consistencia de las heces. La dieta media de un adulto oscila entre 3 y 10 mg de aluminio (en forma de hidróxido de aluminio). (Ponjuan, 2013).
- **Silicio:** Se encuentra en la gran mayoría de los órganos y estructuras en que existen tejidos conectivos, es decir, en la piel, cabello, etc. (Cierva, 2010). Aporte mínimo recomendado: Nivel no especificado.
- **Hierro:** Interviene en la estructura de la hemoglobina, presente en los glóbulos rojos y en la actividad enzimática de algunas reacciones celulares e interviene en la cadena respiratoria. (Beard, 2010). Aporte mínimo recomendado: 10 – 15 mg/día.
- **Calcio:** Es responsable de muchas funciones estructurales de los tejidos duros y blandos del organismo, así como de la regulación de la transmisión neuromuscular, de estímulos químicos y eléctricos, la secreción celular y la coagulación sanguínea. (Hingorjo, 2008). Aporte mínimo recomendado: 800 – 1200 mg/día.

- **Magnesio:** Participa en la transmisión de los impulsos nerviosos, en la contracción y relajación de los músculos, en el transporte de oxígeno a nivel tisular y participa activamente en el metabolismo energético. (Goldman, 2009). Aporte mínimo recomendado: 220 – 300 mg/día.
- **Sodio:** El rol principal del sodio es regular la presión osmótica de los líquidos extracelulares. (Rakel, 2011). Aporte mínimo recomendado: 2 – 3 gr/día.

### 2.3. OPERACIONES UNITARIAS

En las industrias de procesos químicos y físicos, así como en las de procesos biológicos y de alimentos, existen muchas semejanzas en cuanto a la forma en que los materiales de entrada o de alimentación se modifican, o se procesan para obtener los materiales finales de productos químicos o biológicos. (Treybal, 1993). Por lo común estas operaciones se encaminan a separar las partes componentes de una sustancia. (Geankopolis, 1998).

#### 2.3.1. Solubilidad

La solubilidad es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolver en un líquido. Para que una sustancia se disuelva en otra debe existir semejanza en las polaridades de sus moléculas. Por ejemplo el agua es un compuesto polar, por ello disuelve con facilidad a las sustancias polares como son los ácidos, hidróxidos y sales inorgánicas y a los compuestos orgánicos polares. (Cepeda y Villarán, 1999).

### 2.3.1.1. Factores que afectan la solubilidad

La naturaleza del soluto y del solvente, la temperatura y la presión.  
(Chang y Hartel, 1997).

- **La naturaleza del soluto y del solvente:** no existe una regla fija que permite establecer una generalización en cuanto al fenómeno de la disolución. Cuando un soluto es agregado en un solvente se da un proceso de difusión de las moléculas del soluto hacia el seno de las moléculas del soluto y del solvente, lo cual ocurre solo y cuando entre las moléculas del soluto y del solvente se establezcan fuerzas interactivas capaces de vencer las fuerzas intermoleculares existentes en el cuerpo a dispersar.

- **Efecto de la temperatura:** generalmente un aumento de temperatura facilita el proceso de disolución de un soluto. (Zainal, 2000). Lo que se explica por los siguientes hechos:

- a) El calor suministrado al sistema aumenta la velocidad de difusión de las partículas del soluto en el seno del solvente.
- b) Los cambios en la temperatura de dilución pueden influir sobre las propiedades funcionales, color, aroma, sabor, textura, estabilidad, aceptabilidad de los alimentos procesados (Fennema, 2000).

## 2.4. SECADO

El secado es una de las técnicas ampliamente utilizada para la conservación de alimentos, ha sido ampliamente utilizado, desde los albores de la humanidad,

proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en época de carencia de alimentos. (Vega, Andrés y Fito, 2005).

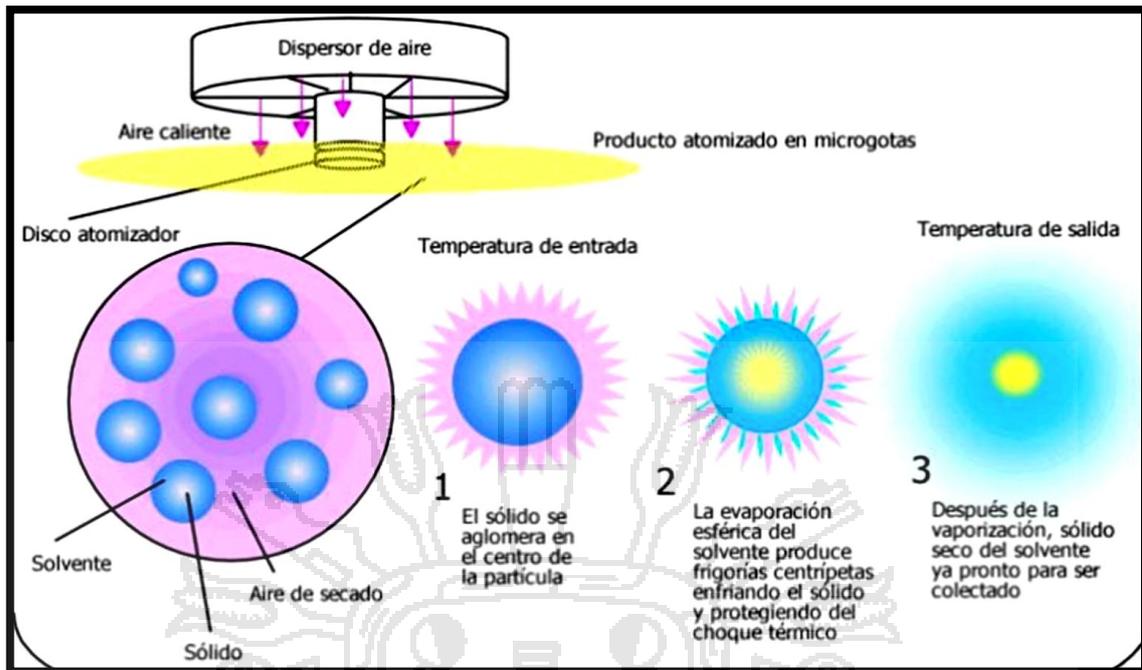
El secado de los alimentos reduce su peso y en muchos casos el volumen, lo que incluye en una reducción importante, de los costos de empaque, almacenamiento y transporte (Doymaz y Pala, 2003).

#### **2.4.1. Secado por Atomización**

El secado por atomización, consiste en lograr la disminución del contenido de humedad de un producto en un tiempo mínimo, de tal manera que no se produce deterioro en sus propiedades químicas y físicas (Filkova, 2006). El agua casi siempre se elimina en forma de una mezcla de vapor con aire (Ibarz, *et al*, 2000).

El secado por atomización es una técnica relativamente sencilla donde se convierten soluciones o dispersiones líquidas en forma de pequeñas gotitas (10 a 200  $\mu\text{m}$  de diámetro), en una masa de aire caliente en movimiento (150 a 300  $^{\circ}\text{C}$ ), en el interior de una cámara de deshidratación y el producto final es polvo, granulo o aglomerado (Goula y Adamopoulos, 2004).

El fluido es atomizado o dispersado como gotitas finas que se ponen en contacto inmediato con flujo aire o gas caliente. Estas gotitas proporcionan una extensa área superficial para la transferencia de calor y masa. Por lo tanto el enfriamiento por evaporación, el tiempo de residencia corto mantiene una temperatura baja en el producto. (Sherman, *et al.*, 2003). La vaporización de gotas atomizadas, en contacto con el aire caliente dentro de la cámara de secado por atomización se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Secado por atomización. (Spray Process, 2012).

#### 2.4.1.1. Elementos del secador por atomización

Mendoza, Romo y Serratos, (2003), menciona un sistema de atomización tiene cinco elementos esenciales: Sistema de calentamiento del aire, cámara de secado, dispositivo para dispersar el material que se va a secar, bomba para impulsar el líquido hacia la cámara de secado y un sistema de recolección de las partículas secas en el seno del aire.

#### 2.4.1.2. Etapas del secado por atomización

Lin y Gentry (2003), considera como etapas del secado por atomización lo siguiente:

- Primera etapa: Atomización,
- Segunda etapa: Contacto atomizado/aire,
- Tercera etapa: Evaporación y
- Cuarta etapa: Recuperación del producto.

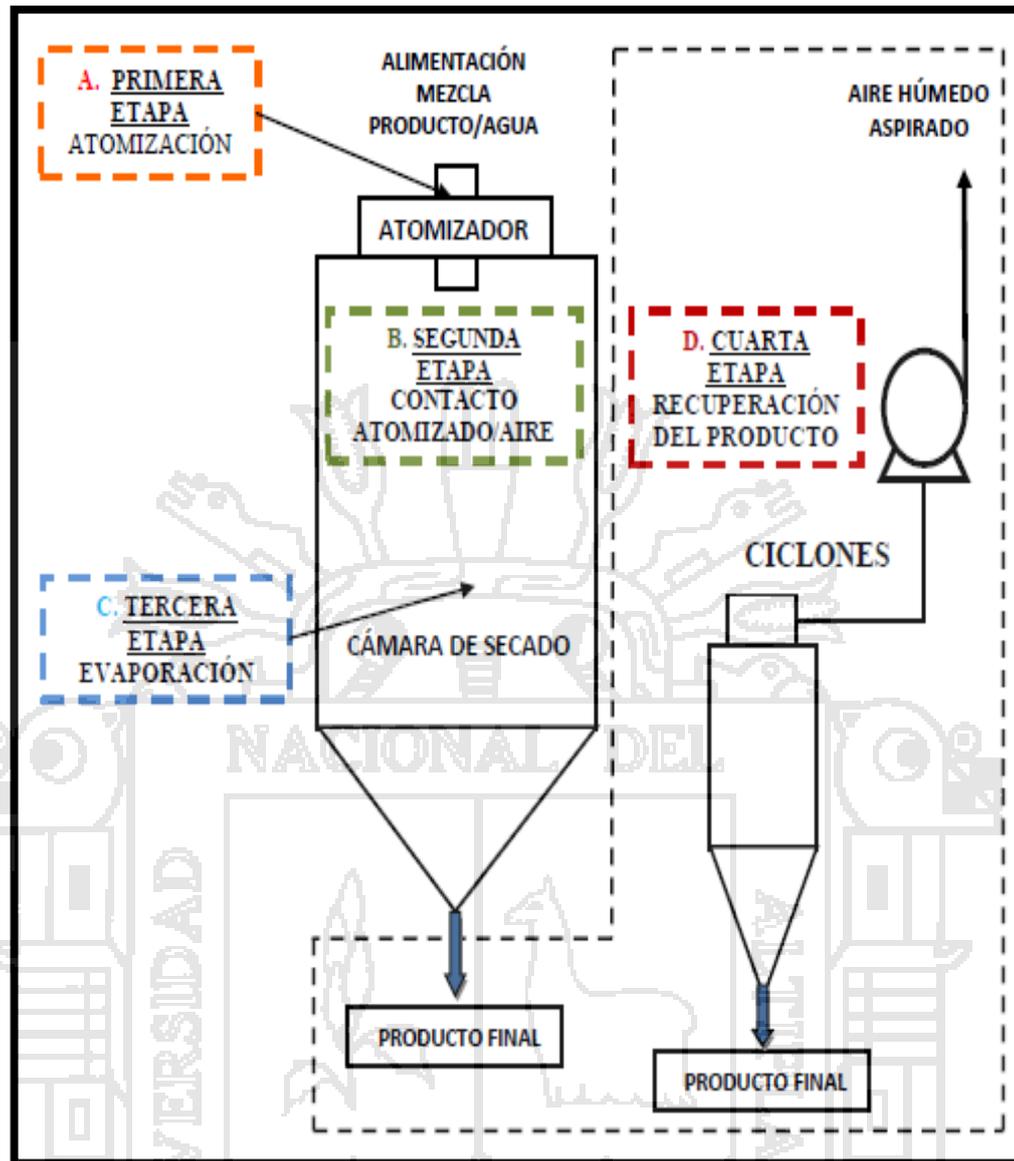


Figura 2. Etapas del secado por atomización (Niro Atomizer, 2010)

#### 2.4.2. Factores que afectan las propiedades de los productos secados por atomización

El secado por atomización produce partículas, con características diferentes a las que tienen las obtenidas por otros procesos. (Lin y Gentry, 2003). Sin embargo, estas propiedades son afectadas por un gran número de variables que se pueden dar en el proceso, tales como: Características inherentes del material de alimentación, concentración del material y temperatura de alimentación.

**a. Influencia de las características inherentes del material de alimentación**

Bangs y Reineccious (1981), encontraron evidencias que las características de los sólidos son más importantes que el contenido de sólidos. La propia naturaleza del material influye en la calidad del producto final obtenido.

Lin y Gentry (2003), Cuando el caudal del líquido de entrada es alto, la humedad final del producto es mayor, pues habrá más agua para evaporar. Incrementando la temperatura del líquido se reduce el calor requerido para producir una unidad másica de producto seco obteniéndose mayor humedad residual en el producto (Master, 1991).

Las propiedades del polvo tamaño y distribución de partícula son influenciadas por la naturaleza del fluido (el contenido de sólidos, la viscosidad y la temperatura), el tipo de secador por aspersion, caudal y temperatura de entrada y salida del aire. (Nath y Satpathy, 1998).

**b. Influencia de la concentración del material**

Durante el proceso de secado cada pequeña gota será transformada en una partícula de polvo y cuanto más alta sea la concentración de sólidos, más grande será la cantidad de polvo en comparación con la cantidad de agua evaporada. Consecuentemente será una ventaja secar por atomización a los líquidos con alto contenido de sólidos (Finney, Buffo y Reineccius, 2002).

Durante el proceso de secado cada pequeña gota será transformada en una partícula de polvo y cuanto más alta sea la concentración de sólidos, más grande será la cantidad de polvo en comparación con la cantidad de agua evaporada (Nath y Satpathy, 1998).

### c. Influencia de la temperatura de alimentación

Tavella (1972), menciona que la viscosidad es reducida con el incremento de la temperatura, y con ello las gotas producidas en secado por atomización son menores.

El color del alimento es uno de los atributos sensoriales más importantes para la aceptación del producto. Durante el secado esta propiedad puede estar afectada por las condiciones de la temperatura y el caudal de alimentación (Caiand, 2000).

El aumento de la temperatura de alimentación determina un aumento en el tamaño de la partícula porque la viscosidad de la solución disminuye y baja la presión parcial del agua evaporada (Espósito, Roncarati y Cortesi, 2000).

La alimentación determina la velocidad con que la muestra ingresa a la cámara de secado, si esta es baja, manteniendo la presión constante, habrá una mayor subdivisión de gotitas acelerando el secado y permitiendo una mejor eficiencia térmica del secador, ya que una mayor área, proporciona más superficie de contacto con el medio de calentamiento. (Maa y Prestrelski, 2000).

**Tabla 3.** Influencia de las variables del proceso de secado por atomización.

<b>Parámetro /dependencia</b>	<b>Caudal alto del aire de secado</b>	<b>Humedad del aire de entrada alta</b>	<b>Temperatura de entrada elevada</b>
Humedad final del producto	Mayor humedad; pues baja la presión parcial del agua evaporada	Menor rendimiento; pues más humedad puede conducir al pegado del producto	Mayor rendimiento; pues se evita la eventual pegajosidad
Rendimiento de producción.	Mayor rendimiento; en la separación en el ciclón	Menor rendimiento; pues más humedad puede conducir al pegado del producto	Mayor rendimiento; pues se evita la eventual pegajosidad
Temperatura de salida	Mayor temperatura; pues hay menos pérdidas de calor basada en la entrada total de energía	Mayor temperatura; pues hay más energía almacenada en humedad	Mayor temperatura de salida; pues hay una proporción directa
Tamaño de partícula	No afecta	No afecta	No afecta
<b>Parámetro/dependencia</b>	<b>Caudal de aire de atomizado alto</b>	<b>Caudal del líquido de entrada alto</b>	<b>Alta concentración de solutos a atomizar</b>
Humedad final del producto	No afecta	Mayor humedad más agua conduce a una presión parcial más alta	Menor humedad habrá menos agua para evaporar, menos presión parcial
Rendimiento de producción	No afecta	Depende de la aplicación	Mayor rendimiento pues partículas más grandes conducen a una mejor separación
Temperatura de salida	Más cantidad de aire fresco que tiene que calentarse	Menor temperatura; pues se evapora más cantidad de agua	Mayor temperatura; pues es menor la cantidad de agua evaporada
Tamaño partícula	Disminuye el tamaño pues aumenta la energía para la dispersión del fluido	Mayores partícula; pues hay mayor cantidad de fluido a dispersar	Mayor tamaño de las partículas secadas; pues hay más producto

**Fuente:** Westergaar, 2004.

### 2.4.3. Factores que determinan la calidad de productos atomizados

En productos en polvo el contenido de humedad es importante ya que a menor humedad es mayor el tiempo de vida de anaquel, lo cual reduce costos y facilita la transportación. A éste respecto, es importante que un alimento en polvo tenga un contenido de humedad menor al 10%. Actualmente los productos alimenticios en polvo elaborados a partir de frutas, verduras y otros, con buenas propiedades nutritivas y de hidratación son de interés en la industria alimentaria (García, *et al*, 2004).

### 2.4.4. Aplicaciones del Secado por Atomización

- **Café instantáneo:** Extractos de café con un contenido de sólidos de 15 a 30 % se pueden concentrar hasta un 60% en sólidos, el producto seco consiste en partículas esféricas de alrededor 300  $\mu\text{m}$ . Los parámetros de secado más comunes son: aire de entrada 250 °C y aire agotado 110 °C. (Barbosa y Mercado, 2000).

- **Productos lácteos:** Leche concentrada con un contenido en sólidos de 40 a 50 %, se seca hasta un contenido de humedad de 2 a 5 % con una temperatura del aire caliente de entrada de 150 a 170 °C. (Masters, 2002).

- **Te instantáneo:** El proceso de te requiere la extracción del mismo a partir de las hojas; la extracción produce una solución de un contenido en sólidos de 5 a 20 %, que son concentrados hasta un 40 % antes de ser atomizados (Mafart, 1994).

## 2.5. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DESDE EL CONSUMIDOR

La calidad como aceptabilidad por parte del consumidor de un determinado producto está integrada por distintos aspectos recogidos por los sentidos: vista (color y

defectos), olfato (aroma y flavor), tacto (manual y bucal), oído (tacto y durante la masticación) y gusto (sabor). Todos los aspectos de la calidad, tanto externos como internos, son valorados por el consumidor. (Ferratto, 2003).

### 2.5.1. Análisis Sensorial o Evaluación Sensorial

La aceptación de un alimento es la consecuencia de la reacción del consumidor ante las propiedades físicas, químicas y texturales del mismo. De hecho, una de las múltiples definiciones de análisis sensorial obedece al examen de las propiedades organolépticas de un producto por los órganos de los sentidos, es decir, el conjunto que permiten percibir, identificar y apreciar un cierto número de propiedades características de los alimentos. (Costell, 2000).

### 2.5.2. Utilidad del Análisis Sensorial

Según Espinoza (2007), las utilidades del análisis sensorial son numerosas y dentro de ellas es posible mencionar:

- **Control de un proceso de fabricación:** Un análisis sensorial, metódico y planificado, resulta de especial interés cuando se ha modificado algún ingrediente o materia prima o simplemente se dan cambios en las condiciones de procesamiento: modificación del tiempo de cocción, incremento o descenso de la temperatura ambiente, etc.
- **Medida de la influencia del almacenamiento:** temperatura, tiempo de elaboración, condiciones de apilamiento, etc.

#### 2.5.2.1. Formas de Realizar el Análisis Sensorial

Según Espinoza (2007), El análisis sensorial de los alimentos puede realizarse a través de diferentes pruebas:

- **Pruebas Objetivas:** Son evaluaciones instrumentales ligados a las propiedades sensoriales y al margen de aceptabilidad del alimento. Existen otras evaluaciones instrumentales denominados técnicas semiobjetivas, se incluyen dentro de este grupo a las cromatografías, valoraciones físico-químicas y bioquímicas, indicadores de la composición cualitativa del producto (vitaminas, elementos minerales, proteínas, ácidos, azúcares, colorantes, edulcorantes artificiales, etc.).
- **Pruebas Hedónicas:** Los estudios de naturaleza hedónica son esenciales para saber en qué medida un producto puede resultar agradable al consumidor. Pueden aplicarse pruebas hedónicas para conocer las primeras impresiones de un alimento nuevo o profundizar más y obtener información sobre su grado de aceptación o en qué momento puede producir sensación de cansancio en el consumidor.

### 2.5.3. Propiedades Sensoriales

La evaluación sensorial está dada por la integración de los valores particulares de cada uno de los atributos sensoriales de un alimento, por tanto no debe absolutizarse que una propiedad en particular es la que define la calidad de un producto dado; sino que existe una interrelación entre ellas, que no permite por tanto menospreciar el papel de ninguno de estas. (Carpenter y Lyon, 2002).

- **Color:** La importancia del color en la evaluación sensorial se debe fundamentalmente a la asociación que el consumidor realiza entre este y otras propiedades de los alimentos, demostrándose además que en ocasiones

sólo por la apariencia y color del alimento un consumidor puede aceptarlo o rechazarlo. (Ennis, 1999).

- **Olor:** El olor desempeña un papel muy importante en la evaluación sensorial de los alimentos. Diferencia existente entre olor y aroma, el primero es la percepción de las sustancias volátiles por medio de la nariz, en cambio el aroma es la detección que se origina después de haberse puesto en contacto el alimento en la boca, o sea que el aire en el caso del aroma no es el medio de transmisión de la sustancia, sino la membrana mucosa del paladar. (Bett y Dionigi, 1997).
- **Sabor:** Este atributo de los alimentos es muy complejo, ya que combina tres propiedades el olor, aroma y el gusto. (Carpenter y Lyon, 2002).
- **Apariencia:** Se define como el aspecto exterior que presentan los alimentos, resultante de apreciar con la vista su color, forma, tamaño, estado entre otras características que definen su calidad, viene a ser lo primero que capta el consumidor antes de percibir y comprobar por otros estímulos dicha apreciación. (Ureña, 1999).

#### 2.5.4. Cantidad de Muestra

El comité de evaluación sensorial de la ASTM (Orthey, 2010) recomienda, para pruebas discriminativas cada juez debe recibir al menos 28 gr de alimento sólido, en caso de bebidas debe recibir 50 ml de líquido. También hay que tener en cuenta cuantas muestras deberá evaluar el juez en una sesión, para así modificar el tamaño de las mismas con el fin de que el juez no se empalague o hastíe. (Anzaldúa, 1999).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El presente estudio de investigación se realizó en las instalaciones de la Planta Piloto de Tecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano, ubicado en la ciudad de Puno, a una altura de 3827 msnm y una temperatura promedio de 16°C.

Los análisis de las muestras fueron realizados en los siguientes laboratorios:

- El material experimental (chacko gris instantáneo) se elaboró en la Planta Piloto de Tecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.
- El análisis del contenido de minerales se realizó en el Laboratorio de Análisis Experimental INIA, ILLPA – Puno.
- El análisis de las microimágenes de la materia prima y del producto obtenido se realizó en los Mega laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano.
- El análisis de tamaño de partícula se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Dirección de Obras del Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca – Puno.
- Las pruebas sensoriales se realizaron en la Planta de Procesamiento de Alimentos de la Dirección de Recursos Hidrobiológicos del Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca – Puno.

#### 3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

- La materia prima utilizada para esta investigación fue la arcilla chacko gris (*Montchack*), proveniente del distrito de Asillo provincia de Azángaro, departamento de Puno, extraído de las canteras el mes de noviembre del 2013.
- Agua, se utilizó agua de mesa San Luis adquirido de una bodega local.

### 3.3. MATERIAL DE LABORATORIO

#### 3.3.1. Instrumentos de laboratorio

- Baldes de plástico transparente (10 Lt).
- Paletas de madera.
- Olla de aluminio (10 Lt).
- Cocina a gas y Balón de gas.
- Colador (Malla N° 200).
- Jarra de plástico (1 Lt).
- Escalera (12 pasos).
- Brocha (1’’).
- Envase de vidrio.
- Placas Petri.
- Tijeras.
- Cuchillos.

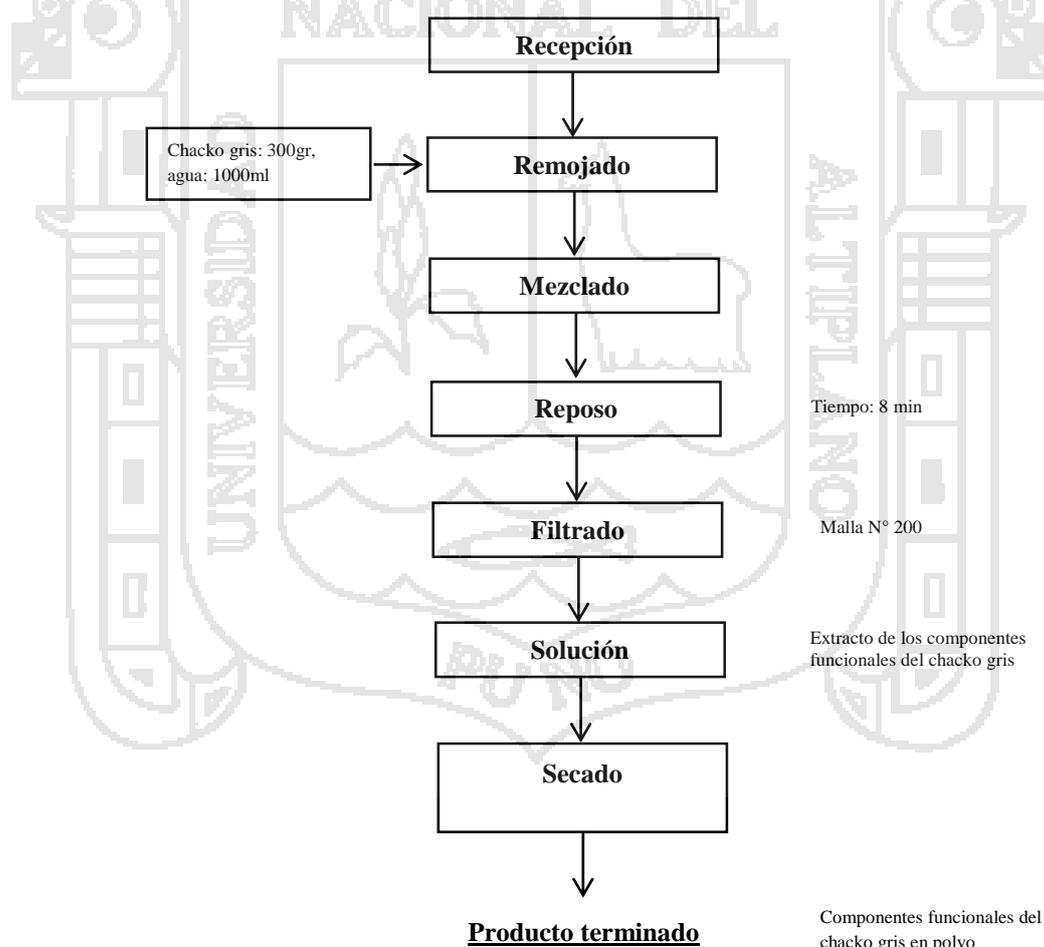
#### 3.3.2. Equipos

- Balanza determinadora de humedad, marca H.W. Kessel S.A.
- Compresor de 6 galones, marca Campbell (1.5 HP).
- Higrómetro digital, marca Taylor.
- Equipo de Tamizado Rop Tap con mallas N° 140, 200, 230, 270 y 325.
- Termómetro digital.
- Balanza analítica digital (0.001 a 320 gr.), marca AND FR - 300 Japón.
- Cronometro, marca Casio.
- Microscopio Electrónico de Barrido, marca EVO LS10 - Japón.
- Espectrofotómetro de Rayos Ultravioleta Infrarrojo (UV) (IR).

- Secador por Atomización: Constituido por una cámara de secado de forma cilíndrica y base cónica con un diámetro (interno) de 0.5 m y altura de 1.7 m recubierto con un aislante de 4 cm de espesor para evitar las pérdidas de calor. En la parte superior (tapa cilíndrica) lleva el calefactor de aire, el dispositivo atomizador y un dispersor de aire. Equipos auxiliares: Calefactor de aire con entrada de forma tangencial (ubicada en la tapa cilíndrica), Ciclón separador de polvo, Sistema de atomización (tobera de dos fluidos) y un Extractor de aire. (Calla, L. y Canaza, J., 2012)

### 3.4. METODOS

#### 3.4.1. Elaboración del chacko gris instantáneo



**Figura 3.** Flujo de operaciones para la elaboración del chacko gris instantáneo.

Descripción general del proceso de elaboración del chacko gris instantáneo:

- Recepción: En esta etapa se realizó la recepción de la materia prima (chacko gris) y los demás insumos.
- Selección: Se retiró las impurezas físicas del chacko gris (pajas, piedras, etc.).
- Remojado: Se procedió a la dilución de 100 gr de chacko gris en 300 ml de agua San Luis, según los parámetros propuestos: temperatura de dilución del agua (20 y 50 °C) y tiempo de dilución (30 y 60 min).
- Mezclado: En esta etapa se mezclaron el chacko gris y el agua removiendo con una paleta de madera por 3 min, después de la etapa de dilucion.
- Reposo: En esta etapa se dejó sedimentar las impurezas del chacko gris (arena y limo) por 8 min.
- Filtrado: En esta etapa se separó la solución (extracto de componentes funcionales) de las impurezas (arena y limo) del chacko gris, con la ayuda de un colador (malla N° 200).
- Solución: Es el extracto de componentes funcionales del chacko gris, libre de impurezas (arena y limo).
- Secado por atomización: En esta etapa se realizó el secado de la solución (extracto de componentes funcionales del chacko gris), según parámetros propuestos: Caudal de alimentación (1.2 y 1.8 lt/h) y temperatura de alimentación (20 y 60 °C).
- Producto terminado: Componentes funcionales del chacko gris en polvo.

### 3.4.2. Factores en estudio

- Parámetros de dilución
  - o Temperatura de dilución (20 y 50 °C)

- Tiempo de dilución (30 y 60 min)
- Parámetros de secado por atomización
  - Temperatura de alimentación (20 y 60 °C)
  - Caudal de alimentación (1.2 y 1.8 lt/h)

### 3.4.3. Variables de respuesta

- Características físico químicas
  - Humedad (%)
  - Rendimiento (%)
  - Tamaño y distribución de partícula ( $\mu\text{m}$ )
  - Estructura
  - Contenido de minerales
- Análisis sensorial
  - Aceptabilidad (olor, sabor, color y apariencia general)

### 3.4.4. Método de análisis

#### 3.4.4.1. Determinación de la humedad

Se determinó el contenido de humedad del producto obtenido de cada uno de los tratamientos mediante la balanza determinadora de humedad H.W. Kessel S.A., según la metodología:

- Los parámetros fijados en el equipo para realizar los ensayos fueron:
  - Temperatura: 120 °C en
  - Intervalo de tiempo: 10 min.
- Se pesó 2 gr de muestra en el patillo previamente tarado.
- Una vez cerrado el equipo se puso en funcionamiento por 10 min,

- Se obtuvo en forma directa el contenido porcentual de humedad de cada tratamiento.

#### 3.4.4.2. Determinación del rendimiento

El rendimiento del producto obtenido se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\text{Gramos Obtenidos}}{\text{Gramos Totales}} \times 100$$

#### 3.4.4.3. Determinación del tamaño de partícula

El tamaño de partícula del producto obtenido se determinó mediante el equipo de tamizado Rop Tap, según la metodología:

- Se pesó 100 gr de la muestra y para distribuirlo en el primer tamiz (distribución de malla N° 140, 200, 230, 270 y 325).

- Luego se puso en funcionamiento el equipo por 10 min, así se determinó los porcentajes de retención de las partículas del producto.

- El diámetro medio del porcentaje retenido se calculó utilizando la ecuación:

$$DM = \frac{\text{Malla 1} + \text{Malla 2}}{2}$$

### 3.4.5. Método para el análisis químico proximal

#### 3.4.5.1. Determinación del contenido de minerales

##### Espectrofotómetro de rayos ultravioleta infrarrojo (UV) (IR)

Las muestras son colocadas en una célula transparente, conocida como cubeta. Las cubetas suelen ser rectangulares, con una anchura interior de 1 cm. Esta anchura se convierte en la longitud de ruta, L, en la Ley de Beer-Lambert. También se pueden usar tubos de ensayo como cubetas en

algunos instrumentos. Las mejores cubetas están hechas con cuarzo de alta calidad, aunque son comunes las de vidrio o plástico. El cristal y la mayoría de los plásticos absorben en el UV, lo que limita su utilidad para longitudes de onda visibles.

### **Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)**

La verificación estructural del chacko gris fue desarrollada por el método de “muestra orientada” que consiste en la deposición del chacko gris sobre tres porta muestras, las micrografías han sido obtenidas con el microscopio electrónico de barrido (SEM), marca EVO LS10, con un voltaje a 20.0 KV, Det Type. SUTW + Resolución; 136 tiempo de corrido; 40.00 segundos. (Adabache, A., Silva, M. y Galván, R. 2010).

#### **3.4.6. Evaluación de los atributos sensoriales**

El comité de evaluación sensorial de la ASTM (Orthey, 2010) recomienda, para pruebas discriminativas cada juez debe recibir al menos 50 ml de líquido, en caso de bebidas.

La estimación subjetiva de aceptabilidad y evaluación organoléptica se realizó cuando el producto se terminó de elaborar. El análisis sensorial se realizó con 20 jueces no entrenados, Las evaluaciones se realizaron en el chacko instantáneo rehidratado (100 gr de chacko instantáneo en 1000 ml de agua pura).

La metodología utilizada para medir preferencias fue el siguiente: se le pidió al panelista que luego de su primera impresión respondiera cuanto le agradaba o desagradaba el producto de acuerdo a una escala numérica de 1 a 5 puntos.

### 3.4.7. Evaluación estadística del tratamiento de dilución

En el tratamiento de dilución para la evaluación de los rendimientos en solución de la extracción de los componentes funcionales del chacko gris, se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de 2 x 2 con tres repeticiones, cuyos factores fueron: temperatura de dilución con dos niveles 20 y 50 °C, tiempo de dilución con dos niveles 30 y 60 min. Se realizó un análisis de varianza (ANVA) con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , y pruebas de comparación TUKEY, para seleccionar el mejor tratamiento. Para el análisis estadístico se utilizó el software Minitab 16.

Modelo matemático del Diseño Completamente al Azar (DCA):

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

Dónde:

- $Y_{ijk}$  = Es la variable de la respuesta.
- $\mu$  = Media global.
- $\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo nivel del factor A.
- $\beta_j$  = Efecto de la j-ésima nivel del factor B.
- $(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A con el j-ésima nivel del factor B.
- $\varepsilon_{ijk}$  = Efecto del error experimental.

### 3.4.8. Evaluación estadística del tratamiento de secado por atomización

En el tratamiento de secado por atomización para la evaluación del rendimiento, humedad, tamaño y distribución de partícula después secado de la solución del chacko gris, se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de 2 x 2 con tres repeticiones, cuyos factores fueron: temperatura

de alimentación con dos niveles 20 y 60 °C, caudal de alimentación con dos niveles 1.2 y 1.8 lt/h. Se realizó un análisis de varianza (ANVA) con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , y pruebas de comparación TUKEY, para seleccionar el mejor tratamiento. Para el análisis estadístico se utilizó el software Minitab 16.

Modelo matemático del Diseño Completo al Azar (DCA):

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

Dónde:

- $Y_{ijk}$  = Es la variable de la respuesta.
- $\mu$  = Media global.
- $\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo nivel del factor A.
- $\beta_j$  = Efecto de la 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.
- $\varepsilon_{ijk}$  = Efecto del error experimental.

#### 3.4.9. Evaluación estadística del análisis sensorial del chacko gris instantáneo

Para comparar los resultados del análisis sensorial se aplicó un análisis de varianza en bloque, ajustado al siguiente modelo matemático.

$$Y_{ijk} = \mu + \text{tratamiento } i + \text{catador } j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

- $Y_{ijk}$  = Es variable de respuesta.
- $\mu$  = Media global.
- Tratamiento  $i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento  $i = 1, 2, 3, 4$
- Catador  $j$  = Efecto de la j-ésimo bloque catador  $j = 1, 2, 3, \dots, 20$
- $\varepsilon_{ij}$  = Componentes aleatorios del error.

### **3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

#### **3.5.1. Caracterización de la materia prima**

En el chacko gris seleccionado y clasificado se llevo a cabo los siguientes controles: Analisis proximal de la composicion elemental del chacko gris y analisis de textura de la materia prima por microimagenes.

#### **3.5.2. Tratamiento de dilución**

Con la finalidad de determinar la influencia de los parametros de dilucion en el proceso de extraccion de los componentes funcionales del chacko gris, se trabajo con: temperatura de dilucion 20 y 50 °C; y tiempo de dilucion 30 y 60 min.

La extraccion de la solucion con el contenido de los componentes funcionales del chacko gris, se efectuo mediante procesos que permitieron separar la parte liquida de la solida.

Posteriormente las muestras fueron sometidas a un proceso de secado por atomizacion en condiciones “estandares”: temperatura de alimentacion 60 °C, caudal de alimentacion 1.8 lt/h, temperatura de entrada de aire 160 °C, Presión de Atomización 35 Psi y Caudal de Aspiración 150 m<sup>3</sup>/h. La forma de decidir sobre el mejor tratamiento de las muestras deshidratadas se realizó evaluando el rendimiento del polvo obtenido en la extraccion con respecto a la materia prima.

#### **3.5.3. Tratamiento de secado por atomización**

Con la finalidad de determinar la influencia de los parametros de secado por atomizacion en el proceso de secado de la solucion con el contenido de los componentes funcionales del chacko gris, se trabajo con: temperatura de alimentacion de 20 y 60 °C; y caudal de alimentacion de 1.2 y 1.8 lt/h manteniendo constante la temperatura de entrada de aire 160 °C, Presión de Atomización 35 Psi y Caudal de Aspiración 150 m<sup>3</sup>/h. La determinación del mejor tratamiento se hizo

en base al rendimiento, humedad, tamaño y distribución de partícula; y evaluación sensorial (olor, sabor, color y apariencia general). La mejor muestra fue sometida a: Análisis proximal de la composición elemental del chacko gris en polvo y análisis de textura del producto por microimágenes.

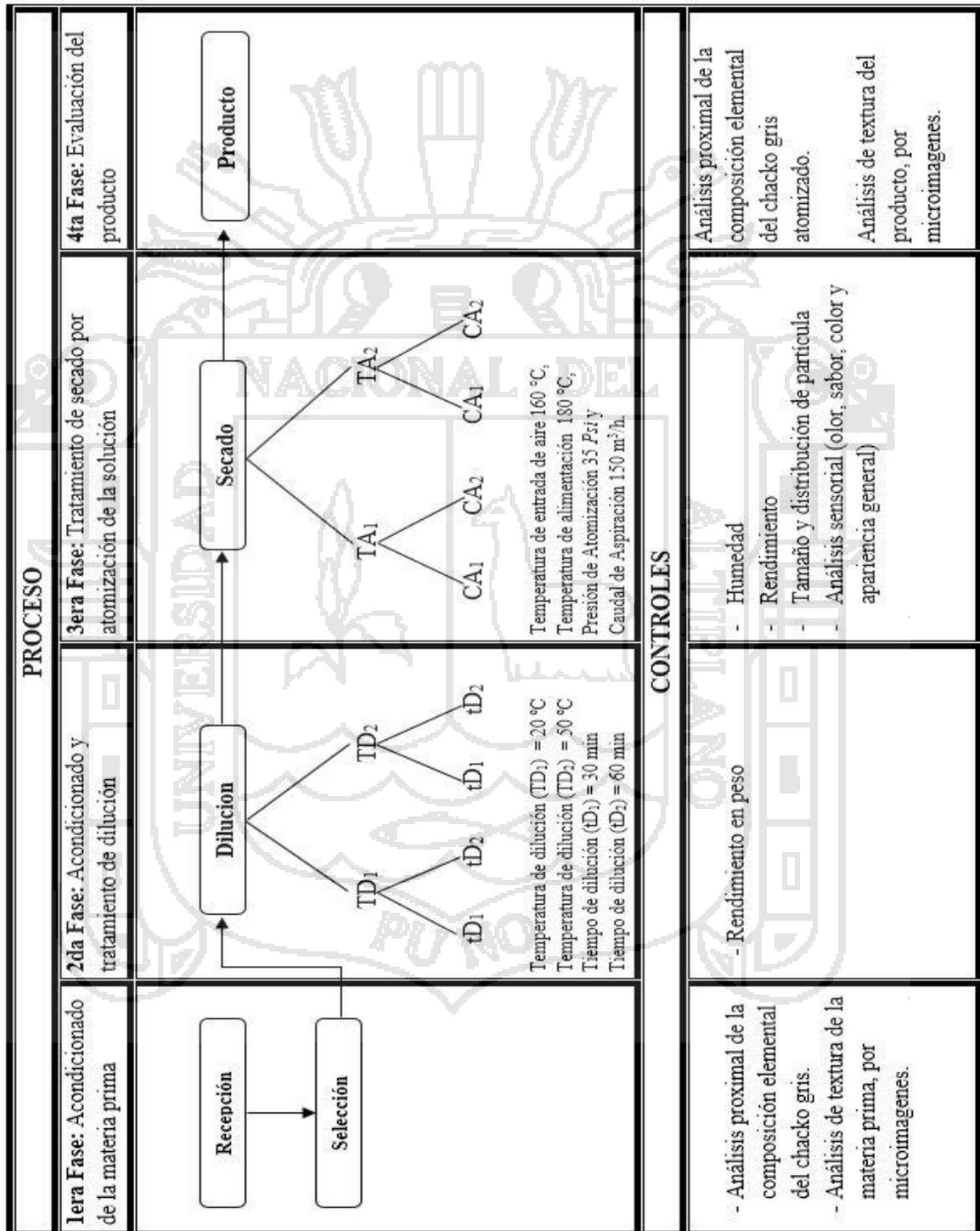


Figura 4. Metodología experimental para deshidratar el chacko gris por atomización.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

#### 4.1.1. Contenido de minerales en el chacko gris

En la Tabla 4, se presenta los resultados de la caracterización del chacko gris del distrito de Asillo en su estado natural, análisis realizado por el método de Espectrofotómetro de Rayos Ultravioleta Infrarrojo (UV) (IR), donde se aprecia el contenido promedio de 15 minerales: Oxido de silicio, oxido de aluminio, óxido de hierro, oxido de calcio, oxido de magnesio, oxido de sodio, oxido de potasio, óxido de azufre, oxido de titanio, Hidrogeno, cobre, Boro, molibdeno, cromo y bario.

Aranibar, García y Suarez, (2009), reportan la composición química proximal del chacko gris del distrito de Asillo en su estado natural es: Oxido de silicio 77.38 %, oxido de aluminio 12.94 %, óxido de hierro 3.32 %, oxido de calcio 1.43 %, oxido de magnesio 2.27 %, oxido de sodio 1.91 %, oxido de potasio 0.60 %, óxido de azufre 0.01 %, oxido de titanio 0.12 % y oxido de manganeso 0.003 %; análisis realizado por el método de Difracción de Rayos X (DRX).

Barrio (2011), indica el contenido de minerales en el chacko gris es: Silicio, Aluminio, Potasio, Boro, Litio, Magnesio, Sodio, Vanadio, Calcio, Zinc, Cobalto, Hierro y Selenio; análisis realizado por el método de Fluorescencia de Rayos X (FRX).

Browman (2013), reporto que la arcilla chacko gris tiene los siguientes componentes mineralógicos: Silicio, Aluminio, Potasio, Magnesio, Sodio, Boro, Cromo, Azufre, Calcio y Hierro; análisis realizado por el método utilizado fue análisis de difracción de rayos X (DRX).

El contenido de minerales que se observa en la Tabla 4, se asemejan al contenido de minerales reportados por los investigadores Aranibar, García y Suarez, (2009), Barrio (2011) y Browman (2013). Se asemejan porque se observa la presencia de 10 minerales principales (Óxido de silicio, óxido de aluminio, óxido de hierro, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxido de sodio, óxido de potasio, óxido de azufre, óxido de titanio y boro).

La concentración de minerales presentes en el chacko gris (Tabla 4), difiere con la concentración de minerales reportados por Aranibar, García y Suarez (2009), reportan mayor concentración de óxido de silicio 77.38 %, óxido de hierro 3.32 % y óxido de sodio 1.91 %; pero se tiene menor concentración de óxido de silicio  $44,77 \pm 0.04$  %, óxido de hierro 0.20 % y óxido de sodio 0.47 %.

Por otro lado, Aranibar, García y Suarez (2009), reportan la menor concentración de óxido de aluminio 12.94 %, óxido de calcio 1.43 %, óxido de magnesio 2.27 %, óxido de potasio 0.60 %, óxido de azufre 0.01 % y óxido de titanio 0.12 %; pero se tiene mayor concentración de óxido de aluminio  $36,83 \pm 0.055$  %, óxido de calcio 4.40 %, óxido de magnesio 4.27 %, óxido de potasio 1.01 %, óxido de azufre 1.47 % y óxido de titanio 0.28 %.

Por lo tanto, la variabilidad del contenido y concentración de minerales en el chacko gris en estado natural depende de la cantera donde se extrajo, el clima, el suelo entre otros factores. Por otro lado, presentó en mayor proporción el óxido de silicio ( $44,77 \pm 0.04$  %) seguido del óxido de aluminio ( $36,83 \pm 0.055$  %) con respecto a otros minerales.

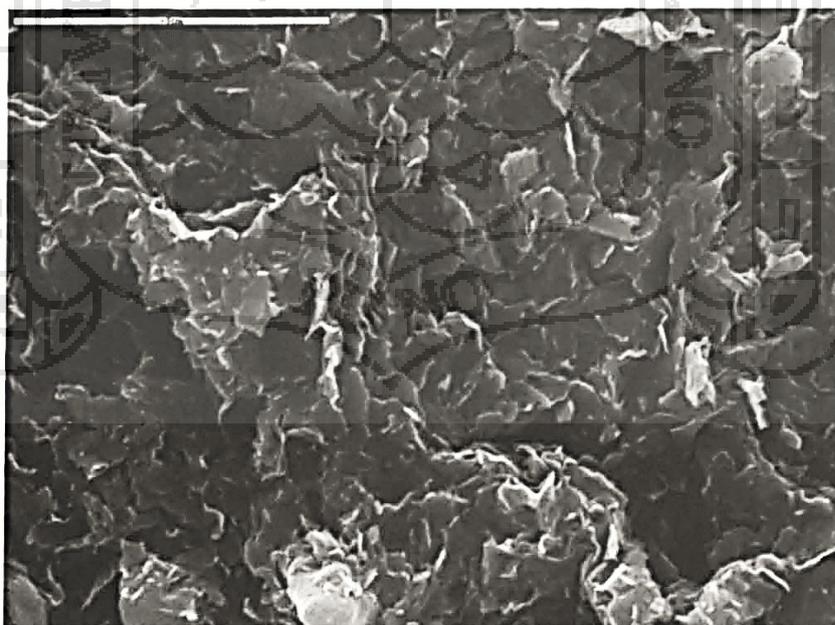
**Tabla 4.** Contenido de minerales en el chacko gris (base 100gr) ( $\pm$  DE, n = 3).

Minerales	Simbolo	Contenido (%)
Óxido de Silicio	Si O <sub>2</sub>	44,77 $\pm$ 0.04
Óxido de Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,83 $\pm$ 0.055
Óxido de Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20 $\pm$ 0.02
Óxido de Calcio	Ca O	4,40 $\pm$ 0.03
Óxido de Magnesio	Mg O	4,27 $\pm$ 0.03
Óxido de Sodio	Na <sub>2</sub> O	0,47 $\pm$ 0.02
Óxido de Potasio	K <sub>2</sub> O	1,01 $\pm$ 0.02
Óxido de Azufre	S O <sub>3</sub>	1,47 $\pm$ 0.04
Óxido de Titanio	Ti O <sub>2</sub>	0,28 $\pm$ 0.03
Hidrogeno	H°	6.21 $\pm$ 0.06
Cobre	Cu	0,01 $\pm$ 0.004
Boro	B	0,05 $\pm$ 0.02
Molibdeno	Mo	0,02 $\pm$ 0.01
Cromo	Cr	0,009 $\pm$ 0.003
Bario	Ba	0,001 $\pm$ 0.0002

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Experimental INIA, ILLPA – Puno.

#### 4.1.2. Análisis de estructura del chacko gris en su estado natural

Aspecto general del chacko gris en su estado natural visto por SEM (escala: 50  $\mu$ m), se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** Aspecto general del chacko gris visto por SEM (escala: 50  $\mu$ m).

En la Figura 5, se muestra el aspecto general del chacko gris en su estado natural visto por SEM (escala: 50  $\mu\text{m}$ ), donde se observa la textura del tipo laminar y su disposición en forma de hojas.

## **4.2. INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS DE DILUCIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE LOS COMPONENTES FUNCIONALES DEL CHACKO GRIS**

### **4.2.1. Tratamiento de dilución**

En la Tabla 5, se presenta de los rendimientos obtenidos de la extracción de los componentes funcionales del chacko gris según los parámetros de dilución propuestos: temperatura de dilución (20 y 50  $^{\circ}\text{C}$ ) y tiempo de dilución (30 y 60 min). Como se puede apreciar, el rendimiento aumenta a una mayor temperatura de dilución y tiempo de dilución de aplicación. Bajo estas condiciones se obtuvo un rendimiento del  $79.58 \pm 0.85 \%$  para el tratamiento con temperatura de dilución de 50  $^{\circ}\text{C}$  y tiempo de dilución de 60 min respectivamente.

El análisis de varianza, demostró que hubo una influencia significativa de las variables temperatura de alimentación y caudal de alimentación así como todas las interacciones de ambos. La prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), indicó que el tratamiento con temperatura de dilución de 50  $^{\circ}\text{C}$  y tiempo de dilución de 60 min influyeron para producir un mayor rendimiento en la extracción de componentes funcionales, respecto a la materia prima. Los valores reportados se deben a la composición y estructura del chacko gris, donde la solubilidad de un sólido en el líquido aumenta cuando se incrementa la temperatura con lo que facilita la liberación de los componentes funcionales del chacko gris en el líquido. Al respecto Zainal (2000), indica el aumento de temperatura de dilución facilita el proceso de disolución de un

soluto. Chang y Hartel (1997), indican el calor suministrado al sistema aumenta la velocidad de difusión de las partículas del soluto en el seno del solvente. Cepeda y Villarán (1999), indican el calor suministrado al sistema es absorbido por las moléculas del soluto, debilitándose las fuerzas intermoleculares y facilitándose el proceso de disolución.

**Tabla 5.** Rendimientos promedios obtenidos de la extracción de los componentes funcionales del chacko gris según parámetros de dilución ( $\pm$  DE, n = 3).

Tratamiento	Temperatura de dilución	Tiempo de dilución	Rendimiento (%)
1	20 °C	30 min	63.46 $\pm$ 0.57
2	20 °C	60 min	70.37 $\pm$ 0.83
3	50 °C	30 min	75.56 $\pm$ 0.69
4	50 °C	60 min	79.58 $\pm$ 0.85

\*Valores obtenidos de tesis.

En la Tabla 6, se presenta los resultados del contenido de minerales observados en las muestras atomizadas. Se observa que las muestras del tratamiento 1 (temperatura de dilución de 20 °C y tiempo de dilución de 30 min) reportaron la menor concentración de componentes funcionales: óxido de silicio 26.97  $\pm$  0.96 %, óxido de aluminio 29.65  $\pm$  1.33 %, óxido de hierro 0.18  $\pm$  0.02 %, óxido de calcio 2.59  $\pm$  0.10 %, óxido de magnesio 3.15  $\pm$  0.12 %, óxido de sodio 0.32  $\pm$  0.06 % y óxido de potasio 0.65  $\pm$  0.05 %. Por otro lado, se observa que las muestras del tratamiento 4 (temperatura de dilución de 50 °C y tiempo de dilución de 60 min), reportaron la mayor concentración de componentes funcionales: óxido de silicio 41.52  $\pm$  0.42 %, óxido de aluminio 35.89  $\pm$  0.15 %, óxido de hierro 0.18  $\pm$  0.01 %, óxido de calcio 3.02  $\pm$  0.05 %, óxido de magnesio 3.88  $\pm$  0.08 %, óxido de sodio 0.41  $\pm$  0.04 % y óxido de potasio 0.84  $\pm$  0.07%.

De las evaluaciones ejecutadas, se determinó que los parámetros de dilución influyen en la extracción de los componentes funcionales del chacko gris. Por lo tanto, el tratamiento 4 (temperatura de dilución de 50 °C y tiempo de dilución de 60 min), es el mejor parámetro de dilución para la extracción de los componentes funcionales del chacko gris en su estado natural. Las muestras obtenidas bajo esta modalidad reportaron las mejores características en rendimiento y concentración de nutrientes funcionales.

**Tabla 6.** Contenido de minerales de las muestras atomizadas (base 100gr) ( $\pm$  DE, n = 3).

Contenido de minerales (%)		Tratamientos			
		20°C y 30 min	20°C y 60 min	50°C y 30 min	50°C y 60 min
Oxido de silicio	Si O <sub>2</sub>	26.97 $\pm$ 0.96	31.18 $\pm$ 0.47	34.06 $\pm$ 0.30	41.52 $\pm$ 0.42
Oxido de Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.65 $\pm$ 1.33	31.58 $\pm$ 0.43	33.62 $\pm$ 0.25	35.89 $\pm$ 0.15
Óxido de hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18 $\pm$ 0.02	0.18 $\pm$ 0.02	0.18 $\pm$ 0.02	0.18 $\pm$ 0.01
Oxido de calcio	Ca O	2.59 $\pm$ 0.10	2.64 $\pm$ 0.07	2.89 $\pm$ 0.09	3.02 $\pm$ 0.05
Oxido de magnesio	Mg O	3.15 $\pm$ 0.12	3.35 $\pm$ 0.05	3.49 $\pm$ 0.09	3.88 $\pm$ 0.08
Oxido de sodio	Na <sub>2</sub> O	0.32 $\pm$ 0.06	0.35 $\pm$ 0.03	0.37 $\pm$ 0.06	0.41 $\pm$ 0.04
Oxido de potasio	K <sub>2</sub> O	0.65 $\pm$ 0.05	0.73 $\pm$ 0.05	0.78 $\pm$ 0.07	0.84 $\pm$ 0.07

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Experimental INIA, ILLPA – Puno.

### 4.3. INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS DE SECADO POR ATOMIZACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y SENSORIALES DEL CHACKO GRIS EN POLVO

#### 4.3.1. Humedad

En la Tabla 7, se presenta la humedad obtenida de las pruebas de secado por atomización. Como se puede apreciar, el menor contenido de humedad (4.67  $\pm$  0.06%), se encontró en el tratamiento 1 (temperatura de alimentación de 20 °C y

caudal de alimentación de 1.2 lt/h), y el mayor contenido de humedad ( $5.71 \pm 0.03\%$ ), se encontró en el tratamiento 4 (temperatura de alimentación de  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  y caudal de alimentación de 1.8 lt/h), con parámetros de secado constantes (Temperatura de entrada de aire  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Presión de Atomización 35 Psi y Caudal de Aspiración  $150\text{ m}^3/\text{h}$ ). Como se puede apreciar, la humedad aumenta a una mayor temperatura de alimentación y caudal de alimentación.

Al respecto Krishnaiah *et al.* (2012), encontró que para el polvo del extracto de *Morinda citrifolia* obtenido mediante secado por aspersion, la humedad se incrementó con el aumento de la temperatura de la solución de entrada del proceso, atribuyendo esto igualmente a unas mayores tasas de transferencia de calor, proporcionando así una mayor fuerza impulsora para la evaporación de la humedad. Caliskan y Dirim (2013), indican el incremento de la temperatura de la solución aumento el contenido de humedad del producto, debido a que las altas temperaturas de operación conllevaban a elevados valores de transferencia de calor.

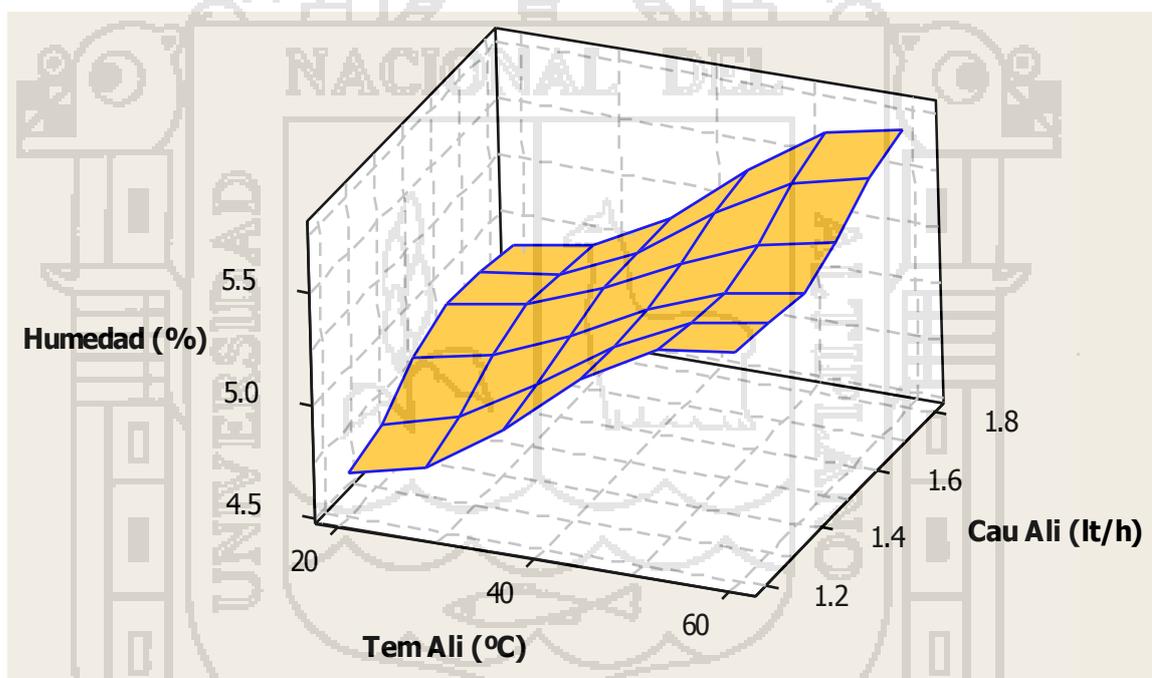
El análisis de varianza, demostró que hubo una influencia significativa de las variables temperatura de alimentación y caudal de alimentación así como todas las interacciones en el contenido de humedad del producto. La prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), indicó que el tratamiento 4 con parámetros de secado: temperatura de alimentación de  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  y caudal de alimentación de 1.8 lt/h influyeron en el aumento de la humedad del producto. (Anexo II).

**Tabla 7.** Humedad promedio de las pruebas de secado por atomización. ( $\pm$  DE, n = 3).

Tratamiento	Temperatura de alimentación	Caudal de alimentación	Humedad (%)
1	20 °C	1.2 lt/h	4.67 $\pm$ 0.06a
2	20 °C	1.8 lt/h	4.92 $\pm$ 0.04b
3	60 °C	1.2 lt/h	5.49 $\pm$ 0.03c
4	60 °C	1.8 lt/h	5.71 $\pm$ 0.03d

\*Valores obtenidos de tesis.

La influencia de la temperatura de alimentación y el caudal de alimentación sobre la humedad del producto está representado en la Figura 6.

**Figura 6.** Influencia de la temperatura de alimentación y el caudal de alimentación sobre la humedad del producto.

En la Figura 6, se observa que, conforme aumenta la temperatura de dilución de 20 a 60 °C y el caudal de alimentación de 1.2 a 1.8 lt/h, aumenta la humedad. Al respecto Obón *et al.*, (2009), indican la diferencia de la temperatura de la solución entre el medio de secado es mayor, entonces la humedad se elimina más rápido. Adicionalmente, la humedad del aire de secado puede ser un factor que influya en

la humedad residual de los polvos. Kha *et al.*, (2010), indican que el incremento de la temperatura de alimentación ocasiona una mayor pérdida de agua debido al incremento de la velocidad de transferencia de calor de las partículas, causando una remoción más rápida de la humedad.

Al analizar la influencia de las variables individualmente se determinó lo siguiente: al mantener constante el caudal de alimentación y se aumenta la temperatura de alimentación de 20 a 60 °C el porcentaje de humedad aumenta de  $4.67 \pm 0.06 \%$  a  $5.71 \pm 0.03 \%$ , lo cual evidencia que a medida que aumenta la temperatura de alimentación, se encontró un incremento en el porcentaje de humedad del producto.

Este comportamiento se atribuye a que cuando se aumenta la temperatura de alimentación entra más calor al proceso de secado, lo que reduce el calor requerido para producir una unidad másica de producto seco. Por lo tanto, el aire caliente durante el proceso de secado enfría menos cuando la temperatura de alimentación está a 60 °C y enfría más cuando la temperatura de alimentación está a 20 °C. Atribuyendo esto a mayores tasas de transferencia de calor, proporcionando así una mayor fuerza impulsora para la evaporación de la humedad. Estos resultados son congruentes con los obtenidos en tomate (Goula y Adamopoulos, 2004), tuna (Obón *et al.*, 2009), naranja (Chegini y Ghobadian, 2007; Goula y Adamopoulos, 2010).

#### **4.3.2. Rendimiento**

En la Tabla 8, se presenta los rendimientos obtenidos de las pruebas de secado por atomización. El menor rendimiento  $54.19 \pm 0.61 \%$  se encontró en el tratamiento 1 (temperatura de alimentación de 20 °C y caudal de alimentación de

1.2 lt/h) y el mayor rendimiento  $77.82 \pm 0.88$  % se encontró en el tratamiento 4 (temperatura de alimentación de  $60$  °C y caudal de alimentación de 1.8 lt/h), con parámetros de secado constantes (Temperatura de entrada de aire  $160$  °C, Presión de Atomización 35 Psi y Caudal de Aspiración  $150$  m<sup>3</sup>/h). Como se puede apreciar, el rendimiento aumenta a una mayor temperatura de alimentación y caudal de alimentación respectivamente.

Al respecto Chegini y Ghobadian (2007), obtuvieron mayores rendimientos a flujos de alimentación altos, esto lo atribuyen a que el secado es correcto pues es mayor la cantidad de fluido que es atomizado en la cámara de secado y se logra eliminar mayor cantidad de humedad aun cuando el tiempo de secado es mayor.

Tonon *et al.*, (2008), reportaron un efecto positivo sobre el rendimiento del producto obtenido al aumentar el flujo de alimentación, atribuyendo esto a una mayor eficiencia en la transferencia de masa y de calor y a la disminución de la probabilidad de que las partículas golpeen las paredes de la cámara de secado cuando se utilizan temperaturas de entrada elevadas.

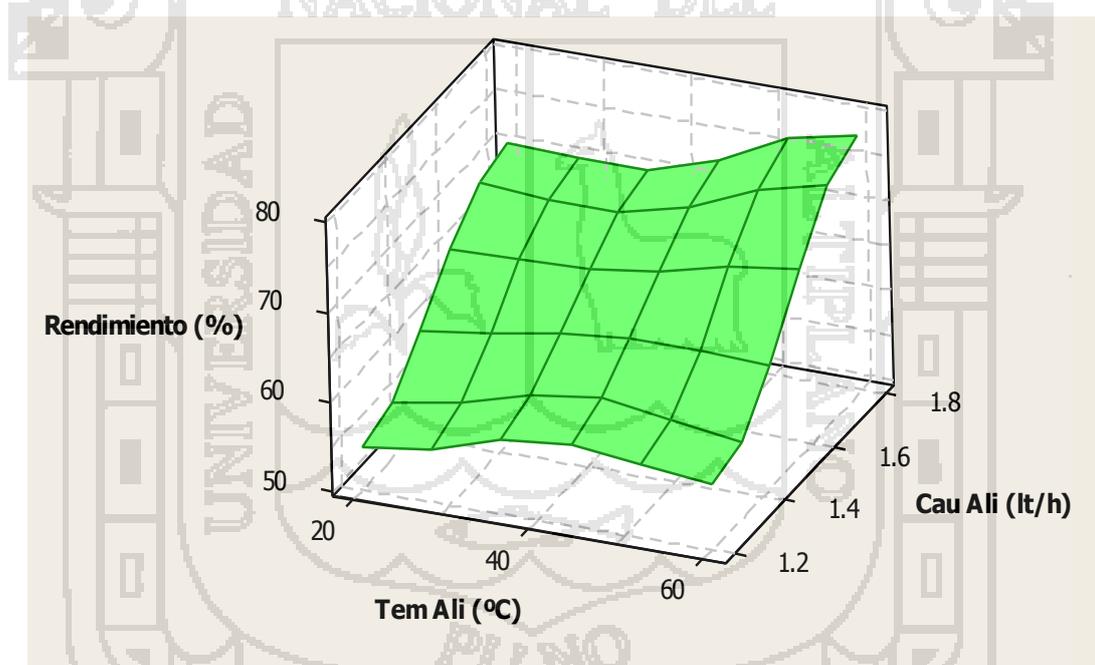
El análisis de varianza demostró que hubo una influencia significativa de las variables temperatura de alimentación y caudal de alimentación así como sus interacciones de ambos. La prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), indico que el caudal de alimentación tiene más influencia en el rendimiento del producto en comparación a la temperatura de alimentación. (Anexo II-A).

**Tabla 8.** Rendimiento promedio de las pruebas de secado por atomización. ( $\pm$  DE,  $n = 3$ ).

Tratamiento	Temperatura de alimentación	Caudal de alimentación	Rendimiento (%)
1	20 °C	1.2 lt/h	54.19 $\pm$ 0.61a
2	20 °C	1.8 lt/h	70.39 $\pm$ 0.43b
3	60 °C	1.2 lt/h	56.70 $\pm$ 0.80c
4	60 °C	1.8 lt/h	77.82 $\pm$ 0.88d

\*Valores obtenidos de tesis.

La influencia de la temperatura de alimentación y el caudal de alimentación sobre el rendimiento del producto está representado en la Figura 7.



**Figura 7.** Influencia de la temperatura de alimentación y el caudal de alimentación sobre el rendimiento del producto.

En la Figura 7, se observa que, conforme aumenta la temperatura de dilución de 20 a 60 °C y el caudal de alimentación de 1.2 a 1.8 lt/h, aumenta el rendimiento. Al analizar la influencia de las variables individualmente se determinó lo siguiente:

al mantener constante la temperatura de alimentación y se aumenta el caudal de alimentación de 1.2 a 1.8 lt/h el porcentaje de rendimiento aumenta de  $54.19 \pm 0.61$  % a  $77.82 \pm 0.88$  %, lo cual evidencia que a medida que aumenta el caudal de alimentación, se encontró una tendencia de incremento del rendimiento. Este comportamiento se atribuye a que el aumento del caudal de alimentación causa la reducción de adherencia de los polvos en la pared de la cámara de secado, incrementando la producción de polvos y el rendimiento. Estos resultados son congruentes con los obtenidos por Chegini y Ghobadian (2007) y Tonon *et al.*, (2008).

Los rendimientos obtenidos del polvo de chacko gris atomizado en las diferentes condiciones de operación empleadas fueron menores a 100 %, esto es debido a que el producto seco se quedó adherido y acumulado en las paredes del secador y del ciclón, lo cual dificultó su recuperación generando pérdidas del material, lo cual se vio reflejado en el rendimiento del proceso. Valores de rendimiento que reportaron una situación similar al obtener polvos de tomate (Goula & Adamopoulos, 2005), tuna (Obón *et al.*, 2009), naranja (Chegini y Ghobadian, 2007; Goula y Adamopoulos, 2010) y mucílago de tuna (León-Martínez *et al.*, 2010).

#### **4.3.3. Tamaño de partícula**

En la Tabla 9, se presentan las distribuciones en fracción masa de partículas retenida en los tamices a diferentes condiciones de operación del sistema. A partir de los datos de la tabla A- 3, Anexo III y utilizando la ecuación de diámetro medio de partícula de la página 31, se obtuvieron los diámetros promedios: uno inferior (0.0 a 50.5  $\mu\text{m}$ ), dos intermedios (60.5  $\mu\text{m}$  y 70.  $\mu\text{m}$ ) y otro superior (50.5  $\mu\text{m}$  a

mas), correspondientes a cada combinación de los niveles de los parámetros de operación seleccionados.

Al comparar entre sí las diferentes condiciones de secado (Tabla 9), se encontró con el aumento del caudal de alimentación desde 1.2 a 1.8 lt/h, se produjo un incremento en el diámetro volumétrico de los tamaños de partículas: 60.5 $\mu\text{m}$  (de 27.44 % a 30.97 %), 70 $\mu\text{m}$  (21.31 % a 25.59 %) y 90.5 $\mu\text{m}$  (10.11 % a 11.43 %), manteniendo sin variaciones el resto de las condiciones de trabajo (temperatura de alimentación de 20 °C, Temperatura de entrada de aire 160 °C, Presión de Atomización 35 Psi y Caudal de Aspiración 150 m<sup>3</sup>/h). Al respecto Espósito E. *et al.*, (2000), reporto el aumento del flujo de alimentación determina un aumento en el tamaño de la partícula. Westergaar (2004), indica al incrementar el flujo de alimentación aumenta el tamaño de partícula pues hay mayor cantidad de fluido a dispersar.

Finney *et al.*, (2002) señalan que un incremento en el flujo de alimentación eleva la capacidad evaporativa del secador, promueve la formación de partículas ligeramente más grandes, que secando a flujos de alimentación bajos, debido a que el secado rápido promueve el endurecimiento de la capa exterior de la partícula y un subsiguiente atrapamiento de la humedad residual, causando expansión y los productos secan a una estructura más porosa, y con ello promueven una reducción en la densidad aparente.

También pudo observar una disminución en el diámetro volumétrico del tamaño de partícula 50.5  $\mu\text{m}$  desde 21.91 % a 15.81 % con el incremento de la temperatura de alimentación desde 20 a 60 °C, manteniendo sin variaciones el resto de las condiciones de trabajo (caudal de alimentación de 1.2 lt/h, Temperatura de

entrada de aire 160 °C, Presión de Atomización 35 Psi y Caudal de Aspiración 150 m<sup>3</sup>/h). Al respecto Tavella (1972) señala que la viscosidad de la solución es reducida con el incremento de la temperatura de alimentación, y con ello las gotas producidas en secado por atomización son menores.

En general, se puede apreciar, el diámetro volumétrico de las partículas del producto aumenta a mayor caudal de alimentación y temperatura de alimentación constante. Este comportamiento se atribuye a que un incremento en el caudal de alimentación eleva la capacidad evaporativa del secador, promueve la formación de partículas ligeramente más grandes, que secando a caudal de alimentación bajo. Indicación que señala que el aumento del caudal de alimentación aumenta el tamaño de partícula pues hay mayor cantidad de fluido a dispersar incrementando el diámetro volumétrico de las partículas del polvo. Este hecho es consistente con las consideraciones teóricas de Espósito E. *et al.*, (2000), Westergaar, (2004) y Finney *et al.*, (2002).

Por otro lado, cuando se incrementó la temperatura de alimentación de 20 a 60 °C, disminuyó el diámetro volumétrico del tamaño de partícula 50.5 µm de 21.91 a 15.81 %. Indicación que señala que el aumento de la temperatura de alimentación favorece el nivel de evaporación del líquido, promoviendo con esto una deficiencia de líquido en la superficie de las partículas y disminuye el tamaño de partícula, esto es consistente con las consideraciones teóricas de Tavella, (1972).

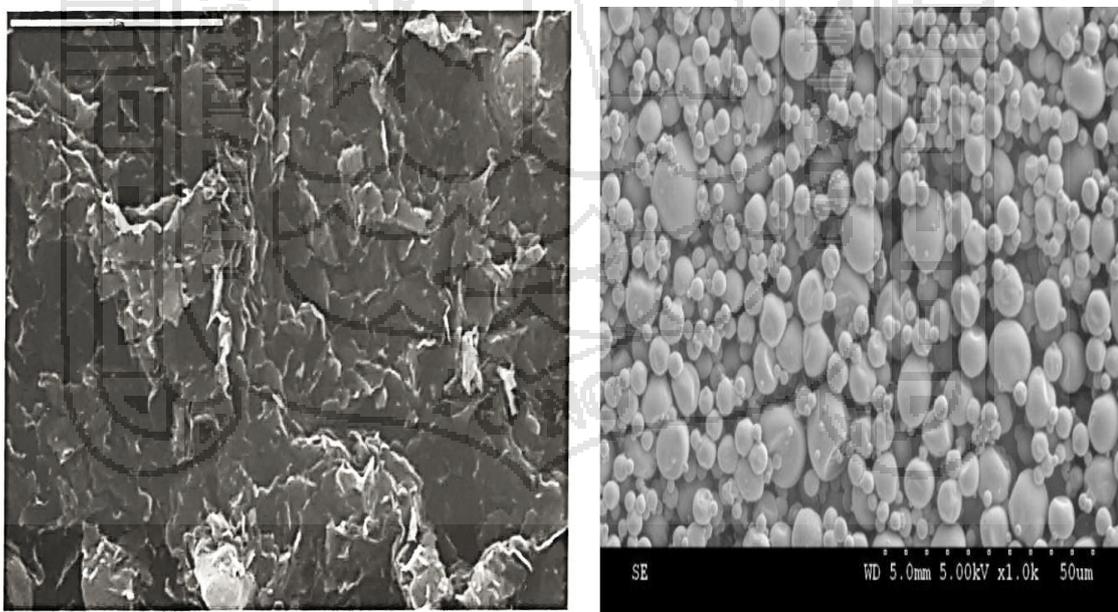
**Tabla 9.** Distribución del tamaño de partículas.

Tratamiento	Temperatura de Alimentación	Caudal de Alimentación	Tamaño de Partícula			
			90.5 $\mu\text{m}$	70 $\mu\text{m}$	60.5 $\mu\text{m}$	50.5 $\mu\text{m}$
1	20 °C	1.2 lt/h	10.11	21.31	27.44	21.91
2	20 °C	1.8 lt/h	11.45	23.83	28.37	18.42
3	60 °C	1.2 lt/h	11.43	25.59	30.97	15.81
4	60 °C	1.8 lt/h	12.54	27.33	34.93	10.24

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.4. Comparación de la textura entre el producto y la materia prima utilizada

La finalidad de realizar esta comparación fue para determinar el cambio de la textura de la materia prima antes y después del proceso de secado por atomización. En la Figura 8, se presenta el aspecto general del chacko gris visto por SEM, antes y después del proceso de secado por atomización.



**Figura 8.** a) Aspecto general del chacko gris visto por SEM (escala: 50  $\mu\text{m}$ ), y b) Aspecto general del chacko gris atomizado visto por SEM (escala: 50  $\mu\text{m}$ ).

En la Figura 8-a, se observa que la textura del chacko gris en su estado natural es del tipo laminar y su disposición esta en forma de hojas, y en la Figura 8-b, se observa que la textura del chacko gris atomizado (según parámetros de secado: temperatura de alimentación de 60 °C y caudal de alimentación de 1.8 lt/h), es del tipo esférico y su disposición esta en forma granulada.

Obón *et al.* (2009), al estudiar los polvos obtenidos de jugo de frutos de *Opuntia stricta* encontró cavidades en la corteza de algunas partículas individuales que sugieren que las esferas huecas se formaron en el proceso de secado por aspersion. La morfología de las microcápsulas fue de forma esférica similar a lo que obtuvo Saéñz *et al.* (2006) cuando encapsuló jugo de fruta de *Ofi*; esta forma esférica y suave muestra la eficacia del mucílago para la encapsulación de compuestos fenólicos, a diferencia de otros vectores usados como agentes encapsulantes lo que indica también la estabilidad de la microcápsula (Krishnan *et al.*, 2005).

En general se puede apreciar el cambio de textura que tiene el chacko gris durante el proceso de dilucion y secado por atomizacion.

#### **4.3.5. Análisis sensorial del chacko instantáneo**

El tratamiento de mayor aceptabilidad se determino mediante una cartilla de evaluación sensorial (anexo IV), donde los panelistas evaluaron las muestras con mejor dilucion para cada atributo (olor, sabor, color y apariencia general).

Los resultados del análisis sensorial presenta valores promedios de puntuación de la evaluación sensorial del chacko instantáneo (diluido), estos resultados se trataron estadísticamente para observar el nivel de significación

mediante la prueba Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) entre los promedios obtenidos de las características organolépticas.

Característica sabor: Mediante la prueba de comparación Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), cuyo resultado se reporta en el anexo IV, que indica que el T4 presenta mejor sabor respecto a los demás tratamientos sin embargo no existe diferencia significativa en relación a los tratamientos T1, T2 y T3, entonces cualquiera de estos tratamientos son aptos respecto al sabor. Carpenter y Lyon, (2002), afirma que es una de las características organolépticas de mayor importancia en el producto puesto que el sabor resulta de la combinación de cuatro propiedades color, olor, sabor, gusto y viscosidad por lo que su percepción es compleja.

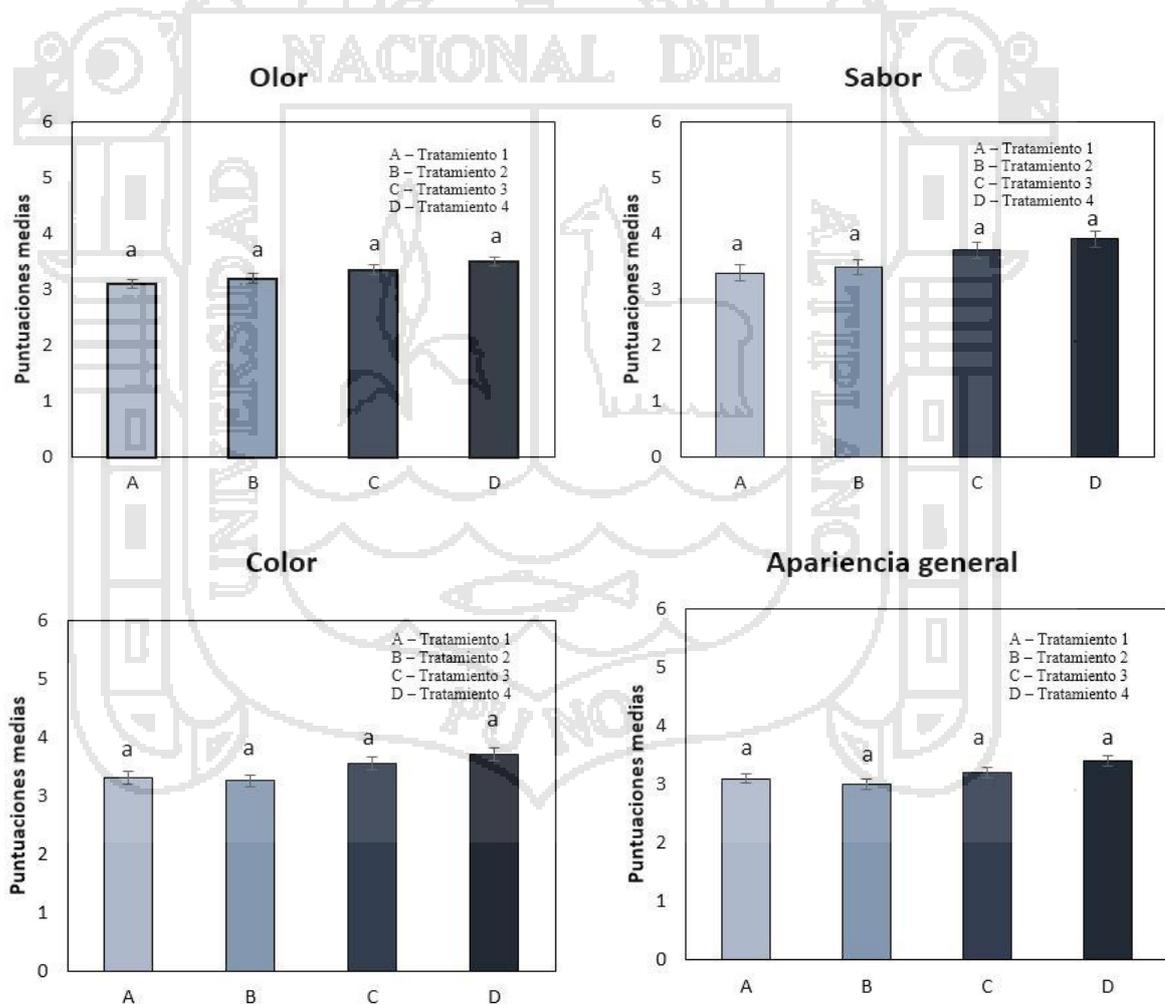
Característica color: Mediante la prueba de comparación Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), cuyo resultado se reporta en el anexo IV, que indica que el T4 presenta mejor color respecto a los demás tratamientos sin embargo no existe diferencia significativa en relación a los tratamientos T1, T2 y T3. Ennis, (1999), afirma que las escalas de valoración del color son útiles en la selección y clasificación de la materia prima, en el procesamiento de alimentos y para generar el impacto visual del producto en el consumidor por lo cual es importante esta propiedad sensorial para la calidad del producto en ese sentido los dos tratamientos mencionados presentan buena calidad sensorial respecto al color.

Característica olor: Mediante la prueba de comparación Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), cuyo resultado se reporta en el anexo IV, que indica que el T4 presenta mejor olor respecto a los demás tratamientos sin embargo no existe diferencia significativa en relación a los tratamientos T1, T2 y T3. Bett y Dionigi, (1997), afirma que la cantidad mínima de sustancia olorosa necesaria para que sea percibida como tal es

denominada umbral de percepción la que varía enormemente para cada persona, y cada especie animal, por lo que esta característica es importante en la calidad del producto y aceptación del consumidor.

Como se puede apreciar en la Figura 9, se percibe de forma evidente que los panelistas mostraron preferencia por el tratamiento 4, que obtuvo una puntuación de 3.5 para el atributo olor, 3.9 para el atributo sabor, 3.7 para el atributo color y 3.4 para la apariencia general, en comparación a los demás tratamientos.

En general, se establece que el tratamiento 4 del producto elaborado tubo un adecuado porcentaje de aceptabilidad por parte de los panelistas.



**Figura 9.** Promedios de puntuación de la evaluación sensorial del chacko instantáneo (diluido).

#### 4.4. PROPIEDADES TERAPÉUTICAS DE LOS COMPONENTES FUNCIONALES DEL CHACKO GRIS INSTANTÁNEO

En la Tabla 10, se muestra el contenido de componentes funcionales del chacko gris instantáneo. El mineral que se presentó en mayor proporción fue el óxido de silicio ( $41.52 \pm 0.42$  %) seguido del óxido de aluminio ( $35.89 \pm 0.15$  %) con respecto a los demás minerales (óxido de hierro  $0.18 \pm 0.01$  %; óxido de calcio  $3.02 \pm 0.05$  %; óxido de magnesio  $3.88 \pm 0.08$  %; óxido de sodio  $0.41 \pm 0.04$  % y óxido de potasio  $0.84 \pm 0.07$  %). El óxido de hierro fue el elemento que se encontró en menor cantidad.

Rodenas (2008) y Alma (2009), indican uno de los factores que hace del chacko gris un elemento interesante desde el punto de vista terapéutico es el aporte al organismo de minerales en forma de óxidos naturales. El óxido de silicio le imparte al organismo el poder cicatrizante; el óxido de aluminio le imparte la propiedad antiácida; el óxido de calcio tiene la propiedad antidiarreica; el óxido de magnesio tiene propiedad antiácida y laxante; el óxido de hierro, sodio y potasio tienen la propiedad de absorber, sintetizar, fijar y asimilar las sustancias nutritivas de los alimentos.

Gonzalo (2000) y Aranibar (2008), reportan el chacko gris tienen enlaces iónicos no satisfechos en la superficie adherente externa y naturalmente busca satisfacer estos enlaces, las partículas del chacko gris llevan carga eléctrica negativa, mientras que las impurezas y toxinas llevan carga eléctrica positiva.

Barrio (2011), reporta la manera de actuar del chacko gris es por medio de un doble proceso de absorción y adsorción; en el proceso de adsorción: la sustancia se adhiere en la superficie externa de la arcilla; en el proceso de absorción: atrae diferentes tipos de sustancias (gases, toxinas, bacterias, parásitos, etc.) basado a su micro-partícula que actúa

similar a una esponja, esta propiedad lo convierte en un excelente depurativo y desparasitante.

Por lo anterior, podemos decir que el chacko gris en polvo (atomizado) contiene los minerales en forma de óxidos naturales que le confieren sus propiedades terapéuticas en el tratamiento de problemas estomacales. Este hecho es consistente con las consideraciones teóricas de Rodenas (2008), Alma (2009), Gonzalo (2000), Aranibar (2008) y Barrio (2011).

**Tabla 10.** Componentes funcionales del chacko gris en polvo ( $\pm$  DE, n = 3).

Minerales	Símbolo	Contenido (%)
Óxido de Silicio	Si O <sub>2</sub>	41.52 $\pm$ 0.42
Óxido de Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.89 $\pm$ 0.15
Óxido de Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18 $\pm$ 0.01
Óxido de Calcio	Ca O	3.02 $\pm$ 0.05
Óxido de Magnesio	Mg O	3.88 $\pm$ 0.08
Óxido de Sodio	Na <sub>2</sub> O	0.41 $\pm$ 0.04
Óxido de Potasio	K <sub>2</sub> O	0.84 $\pm$ 0.07

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Experimental INIA, ILLPA – Puno.

## V. CONCLUSIONES

1. En la composición química del chacko gris del distrito de Asillo, el Óxido de silicio ( $41.52 \pm 0.42 \%$ ) y el óxido de aluminio ( $35.89 \pm 0.15 \%$ ) se encuentran en mayor cantidad, en comparación a los demás minerales.
2. En el proceso de extracción de los componentes funcionales del chacko gris se tiene una influencia significativa de los parámetros de dilución (temperatura y tiempo) así como sus interacciones sobre el rendimiento del producto; se tiene que a una temperatura de dilución de  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  y tiempo de dilución de 60 min, se obtuvo un mayor rendimiento  $79.58 \pm 0.85 \%$  en polvo y mayor concentración de componentes funcionales: óxido de silicio  $41.52 \pm 0.42 \%$  y óxido de aluminio  $35.89 \pm 0.15\%$ .
3. En el proceso de secado por atomización se tiene una influencia significativa de los parámetros de secado (temperatura de alimentación y caudal de alimentación) así como sus interacciones sobre las características fisicoquímicas y sensoriales del producto; se tiene que a una temperatura de alimentación de  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  y caudal de alimentación de 1.8 lt/h, se obtuvo un polvo con  $5.71 \pm 0.03 \%$  de humedad, el mayor rendimiento  $77.82 \pm 0.88 \%$ , partícula en forma esférica, distribución granular, cambio de textura y mayor aceptabilidad del producto.
4. El chacko gris instantáneo presentó un contenido de minerales en forma de óxidos naturales adecuados para ser considerado como una posible bebida funcional con un porcentaje de nutrientes indispensables (óxido de silicio  $41.52 \pm 0.42 \%$ , óxido de aluminio  $35.89 \pm 0.15 \%$ , óxido de hierro  $0.18 \pm 0.01 \%$ , óxido de calcio  $3.02 \pm 0.05 \%$ , óxido de magnesio  $3.88 \pm 0.08\%$ , óxido de sodio  $0.41 \pm 0.04 \%$  y óxido de potasio  $0.84 \pm 0.07 \%$ ) que ejercen un efecto beneficioso sobre una o más funciones del organismo.

#### IV. RECOMENDACIONES

- Continuar con la caracterización del chacko gris de otros distritos del departamento de Puno.
- Emplear encapsulantes en el proceso de secado por atomización del extracto mineral del chacko gris.
- Realizar un estudio detallado de la cantidad de chacko gris en polvo que debe consumir una persona para el tratamiento de afecciones estomacales.



### VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Adabache, A., Silva, M. y Galván, R. (2010). Microscopio Electrónico de Barrido un Instrumento Útil para la Ciencia. Santiago de Chile.  
<http://www.researchgate.net/...barrido.../79e414fc4e0072de00.pdf>
- Albela, J.L. (2012). Antibióticos son Insuficientes para Curar Gastritis.  
<http://www.doctorperezalbela.com/art12.html>
- Alma, H. (2009). La Arcilla Gris: Beneficios de la Tierra.  
[http://www.aquaspamagazine.com/articulo\\_item.php?numero=42](http://www.aquaspamagazine.com/articulo_item.php?numero=42)
- Álvarez, B. (2012). Propiedades Farmacológicas del Aluminio y Magnesio.  
<http://www.minsa.gob.pe/portalebiblioteca2/biblio/plm/PLM/productos/52360.htm>.
- Alvídrez Morales, A., González-Mart I., y Jiménez-Salas. (2002). Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. Revista de Salud Pública y Nutrición. Facultad de Salud Pública y Nutrición. Universidad Autónoma de Nuevo León (México). 3 (3):44-47.
- Anzaldúa, A. (1999). La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y Práctica. (1ra edición). España: Editorial Acribia.
- Aranibar, M.J. (2008). Capacidad Secuestrante de Micotoxinas de la Arcilla Chacko. Macla. [http://www.ehu.es/index.php.sem/macla.articulo/macla6/Macla6\\_.pdf](http://www.ehu.es/index.php.sem/macla.articulo/macla6/Macla6_.pdf)
- Aranibar, M.J., García, E. y Suarez, M. (2009). Arcilla Chacko en la Alimentación Animal. Trabajo de Investigación Escuela de Post Grado Universidad Nacional del Altiplano – Perú, Universidad Complutense – España y Universidad de Salamanca – España. (p. 120).
- Ashwell M. (2002). Concepts of functional foods. ILSI Europe concise monograph series. *Brussels: ILSI Europe*.
- Bangs, W y Reineccius, A. (1981). Influence of dryer infeed matrices on the retention of volatile flavor compounds during spray drying. *Journal of food science* vol. 47. pp. 254-258.

- Barbosa, G. y Mercado, H. (2000). *Deshidratación de Alimentos*. (1ra edición). Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Barrio, S. (2011). *Propiedades Terapéuticas de la Arcilla Chaco*. Saludbio.com. <http://saludbio.com/index/articulo/arcilla-propiedades-indicaciones>
- Barrio, S. (2009). *La Milagrosa Arcilla de Chaco. La Geofagia y la Salud Intestinal*. <http://sachabarrio.blogspot.com/2009/02/la-milagrosa-arcilla-de-chaco-la.html>
- Beard, J.L. (2010). Iron biology in immune function, muscle metabolism and neuronal functioning. *J. Nutr. Abstract*. (131:213).
- Bett, K.L. y Dionigi, C.P. (1997). Detecting seafood flavors: Limitations of sensory evaluation. *Food technology*. 51 (8).
- Browman, D. (2013). *Tierras Comestibles de la Cuenca del Titicaca*. Estudios Ataqueños. [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-10432004002800011](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-10432004002800011)
- Caiand, Corke H. (2000). Effects of type of atomization and processing temperatures on the physical properties and stability of spray-dried flavours. *Journal of food science* vol.67, N° 3 pp. 1108-1113.
- Calla, L. y Canaza, J. (2012). *Construcción de un Secador por Atomización a nivel Laboratorio y su Evaluación en la Obtención de Leche en Polvo*. Trabajo de Investigación para optar el título de Ingeniero Agroindustrial de la UNA – Puno.
- Carpenter, R.P. y Lyon, D.H. (2002). *Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos*. España: Editorial Acribia.
- Cepeda, E. y Villarán, M. C. (1999). Density and viscosity of *Malus floribunda* juice as a function of concentration and temperature. *J. Food Eng.* 41, 103.
- Cerdeo, J.M. (2009). *Aluminio y Salud*. [www.asoc-aluminio.es](http://www.asoc-aluminio.es)
- Cierva, T. (2010). *Importancia del Silicio*. *Current.com*. <http://www.currentconcerns.ch/theimportanceofsilicon/index.php?id=806>
- Costell, E. (2000). *Análisis sensorial: Evolución, situación actual y perspectivas*. *Industria y Alimentos Internacional*, 2, 34-39.

- Culebras J.M., García de Lorenzo A., González-Gross M. (2004). Alimentos funcionales. *Nutr. Hosp.* 19 (1). Disponible en URL [www.scielo.isciii.es/scielo.php]
- Chacón, M. (2011). Chaco Arcilla Orgánica Comestible. [http://greensthecuisine.blogspot.com/2011\\_10\\_01\\_archive.html](http://greensthecuisine.blogspot.com/2011_10_01_archive.html)
- Chang, Yi-H. y Hartel, R. W. (1997). Flow properties of freeze-concentrated skim milk. *J. Food Eng.* 31, 375.
- Doymaz, I. y Pala, M. (2003). The thin – layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineering*, 60, pp. 125- 130.
- Ennis, D.M. (1999). Foundations of sensory science and vision for the future. *Food Technology*. 52(7).
- Espinoza, J. (2007). Evaluación Sensorial de los Alimentos. (1ra edición). Cuba: Editorial Universitaria.
- Espósito E, Roncarati R, Cortesi R. (2000). Production of Microparticles by Spray-Drying Technique: Influence of Experimental Parameter on Morphological and Dimensional Characteristics. *Pharm. Dev. Technol.* 5(2): 267-278.
- Fennema, O. (2000). Química de los Alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza - España.
- Ferrato, J. (2003). El Análisis Sensorial, Una herramienta para la evaluación de la calidad desde el consumidor. <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/18/7AM18.htm>
- Filková, L. (2006). Industrial spray drying systems. In: Handbook of Industrial Drying. (3ra edición). New York: CRC Press.
- Finney, J; Buffo, R y Reineccius (2002). Effects of type of atomization and processing temperatures on the physical properties and stability of spray-dried flavours. *Journal of food science*. vol.67, N°3 pp. 1108-1113.
- García, R. (1999). Capacidad de Intercambio Iónico de las Arcillas. Tesis de post grado. Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú.

- García C., González M.B., Ochoa L.A., Medrano R. (2004). Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por Aspersión. *Ciencia y tecnología alimentaria*. 4: 262-266.
- Geankopolis, C. J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. (3ra edición). México: Editorial Continental.
- Goldman, L. (2009). Reference Intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. *Abstract*. (58:98).
- Gonzalo G, M. (2000). Contenido de coloide en la Arcilla Chacko. Analizado en el Lab de la facultad de ingeniería Química – UNA – Puno.
- Goula A. y Adamopoulos K. (2004). Influence of spray drying conditions on residue accumulation-simulation using CFD. *Drying Technology*, 22:1107-1128.
- Hingorjo, M.R. (2008). Role Calcium of exercise in osteoporosis prevention-current concepts. *Abstract*. (58(2):78-81).
- Ibáñez, V. (2009). *Análisis y Diseño de Experimentos*. Facultad de Ingeniería Estadística e Informática. Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
- Ibarz, A., Barbosa, G., Garza, S. y Gimeno, V. (2000). *Métodos experimentales en la ingeniería alimentaria*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Lentner, M. y T. Bhisop. (1993). *Experimental Design and Analysis*. 2a edición, 1-520. Valley Book Co, Blacksburg, USA.
- Lin Jui - Chen y Gentry J. (2003). Spray Drying drop morphology study. *Aerosol Science and Tecnology* 37:15-32.
- Maa Y. & Prestrelski S. (2000). Biopharmaceutical powders: particle formation and formulation considerations. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 1: 283-302.
- Mafart, P. (1994). *Ingeniería Industrial Alimentaria*. (1era edición). Zaragoza, España: Editorial Technique et Documentation-Laviosier.
- Marino, O. (2009). Los Elementos Traza. *Espectroscopia Molecular*. Universidad de los Andes. *Abstract*. (107:108).

- Martí del Moral A. (2004). Alimentos Funcionales. En: Muñoz M, Aranceta J, Guijarro JL (eds). Libro Blanco de la Alimentación de los Mayores. Madrid: Panamericana: 173-189.
- Masters, K. (1991). Drying of droplets/sprays. In Spray Drying Handbook, 5th Ed.; Longman Scientific & Technical: New York; 309–351.
- Masters, K. (2002). Spray Drying in Practice. SprayDryConsult International ApS, Krathusparken. Gran Bretaña. Britain Library Publications.
- Mazza G. (2000). Alimentos funcionales. Aspectos bioquímicos y de procesado. Zaragoza: Acribia.
- Mendoza, N., Romo, M.T. y Serratos, I. (2003). Dimensionamiento y construcción de un secador por aspersion de nivel de laboratorio. Tesis IA. UPIBI-IPN. México.
- Montgomery, L. (2002). Diseño y análisis de experimentos, México. Limusa-Wiley, 2 ediciones.
- Nath, S., y Satpathy, G. R., (1998). A systematic approach for investigation of spray drying process. *Drying Technology*, 16(6), pp. 1173-1193.
- Niro Atomizer, (2010). Spray Drying. <http://www.niro.com/niro/cmsdoc.nsf/webdoc/webb8jnbvl>.
- Orthey, S. (2010). Ciencia de los sentidos. [http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND10/enright\\_spnd10.html](http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND10/enright_spnd10.html)
- Ponjuan, A. (2013). Consumer Medication Information. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/druginfo/meds/a601013-es.html>.
- Quispe, J., Medina, R. y Aranibar, M. (2007). Composición de la arcilla comestible del altiplano peruano. *Acta Microscópica*, v. 16, n 1-2, p. 226-227.
- Rakel, D. (2011). El Sodio, Función en el Cuerpo. Asoc. - Sodio. <http://www.asoc-sodio.es/DocsPublicos/DocsMedioAmbiente/doc2cuerpo.pdf>
- Ramírez, Y. (2010). Arcilla Medicinal. [http://www.aquaspamagazine.com/articulo\\_item.php?numero=42](http://www.aquaspamagazine.com/articulo_item.php?numero=42)

- Rodenas, P. (2008). Propiedades de la Arcilla.  
[http://boliviarrural.org/index.php?option=com\\_zoo&task=item&item\\_id=281&Itemid=51](http://boliviarrural.org/index.php?option=com_zoo&task=item&item_id=281&Itemid=51)
- Spray Process, (2012). Secado por atomización.  
<http://www.sprayprocess.com.br/espanhol/secado-por-atomizacion.asp>.
- Tavella, J. (1972). Elaboración de polvo deshidratado por atomización a base de cefalotorax de camarón de río. *Ciencia y tecnología alimentaria*. 2: 261-265.
- Ticona, B. (2011). Arcillas Comestibles. *Revista Agro noticias*.  
[http://eprints.ucm.es/13455/1/2007\\_Arcillas\\_Comestibles.pdf](http://eprints.ucm.es/13455/1/2007_Arcillas_Comestibles.pdf)
- Treybal, R. (1993). *Operaciones de Transferencia de Masa*. (2da edición). México: Editorial McGraw-Hill.
- Ureña, P.M. (1999). *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. (1ra edición). Lima – Perú: Editorial UNALM.
- Vega, A.; Andrés, A y Fito, P.; (2005). Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annum* l. cv lamuyo). *Información tecnológica*- vol. 16 N° 6: Págs.: 3-11.
- Westergaar, V. (2004). *Tecnología de la Leche en Polvo*. Evaporación y Secado por Atomización. Copenhague: Niro Atomizer A/S. pág. 349.
- Zainal, B. S. (2000). Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentration. *J. Food Eng.* 43, 55.

**Anexo I: Resultados obtenidos para el tamaño de partícula del producto.****Tabla A 3.** Datos obtenidos de la experimentación para el tamaño de partícula.

Nº	TRATAMIENTO	TAMIZ Nº	TAMAÑO DE PARTICULA	PORCENTAJE RETENIDO
1	TA1CA1	140	106	9.87
		200	75	19.93
		230	65	41.13
		270	56	68.43
		325	45	21.8
		FONDO		9.27
2	TA1CA2	140	106	10.23
		200	75	21.67
		230	65	45.47
		270	56	73.8
		325	45	18.4
		FONDO		7.67
3	TA2CA1	140	106	10.5
		200	75	21.9
		230	65	47.43
		270	56	78.33
		325	45	15.77
		FONDO		5.67
4	TA2CA2	140	106	11.37
		200	75	23.9
		230	65	51.2
		270	56	86.1
		325	45	10.23
		FONDO		3.57

**Anexo II: Resultados obtenidos para la humedad del producto**

**Tabla A 1.** Datos obtenidos de la experimentación para la humedad.

N°	EXPERIMENTO	SIMBOLOGIA	REPETICIONES (%)		
			R1	R2	R3
1	Tratamiento 1	TA1CA1	4.61	4.73	4.68
2	Tratamiento 2	TA1CA2	4.87	4.95	4.93
3	Tratamiento 3	TA2CA1	5.52	5.46	5.49
4	Tratamiento 4	TA2CA2	5.72	5.68	5.74

**Ajuste factorial: Humedad % vs. Cau Ali, Tem Ali**

Efectos y coeficientes estimados para Humedad % (unidades codificadas)

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	3	1138.821	379.607	743.25	0.000
Error	8	4.086	0.511		
Total	11	1142.907			

S = 0.7147 R-cuad. = 99.64% R-cuad. (ajustado) = 99.51%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
TRATAMIENTO 1	3	54.193	0.610	(*-)
TRATAMIENTO 2	3	70.390	0.426	(-*)
TRATAMIENTO 3	3	56.703	0.795	(*)
TRATAMIENTO 4	3	77.850	0.926	(*-)

56.0      63.0      70.0      77.0

Desv.Est. agrupada = 0.715

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
TRATAMIENTO 4	3	77.850	A
TRATAMIENTO 2	3	70.390	B
TRATAMIENTO 3	3	56.703	C
TRATAMIENTO 1	3	54.193	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

**Anexo III:** Resultados obtenidos para el rendimiento del producto.

**Tabla A 2.** Datos obtenidos de la experimentación para el rendimiento.

N°	EXPERIMENTO	SIMBOLOGIA	REPETICIONES (%)		
			R1	R2	R3
1	Tratamiento 1	TA1CA1	53.58	54.2	54.8
2	Tratamiento 2	TA1CA2	70.11	70.88	70.18
3	Tratamiento 3	TA2CA1	55.91	57.5	56.7
4	Tratamiento 4	TA2CA2	78.7	77.8	76.95

**Ajuste factorial: Rendimiento % vs. Cau Ali, Tem Ali**

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	3	2.11577	0.70526	391.81	0.000
Error	8	0.01440	0.00180		
Total	11	2.13017			

S = 0.04243 R-cuad. = 99.32% R-cuad. (ajustado) = 99.07%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
TRATAMIENTO 1	3	4.6733	0.0603	(-*)
TRATAMIENTO 2	3	4.9167	0.0416	(-*)
TRATAMIENTO 3	3	5.4900	0.0300	(-*)
TRATAMIENTO 4	3	5.7133	0.0306	(*)

4.80 5.10 5.40 5.70

Desv.Est. agrupada = 0.0424

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
TRATAMIENTO 4	3	5.7133	A
TRATAMIENTO 3	3	5.4900	B
TRATAMIENTO 2	3	4.9167	C
TRATAMIENTO 1	3	4.6733	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
 Todas las comparaciones en parejas



**Anexo IV: Analisis Sensorial**

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

**Formulario de Evaluación Sensorial del Chacko Gris Instantáneo**

**Nombre:**.....

**Fecha:**..... **Sexo:** (M) (F)    **Edad:** (15 - 28) (29 - 40) años.

**I. INSTRUCCIONES:**

Observe y deguste las siguientes muestras, en el cuadro adjunto escriba el número de su preferencia según el código de tratamiento.

- Muy Bueno                    5
- Bueno                            4
- Aceptable                    3
- Regular                        2
- Desagradable                1

ATRIBUTOS SENSORIALES	TRATAMIENTOS			
	TA1CA1	TA1CA2	TA2CA1	TA2CA2
Olor				
Sabor				
Color				
Apariencia general				

**COMENTARIOS:**.....  
 .....  
 .....  
 .....



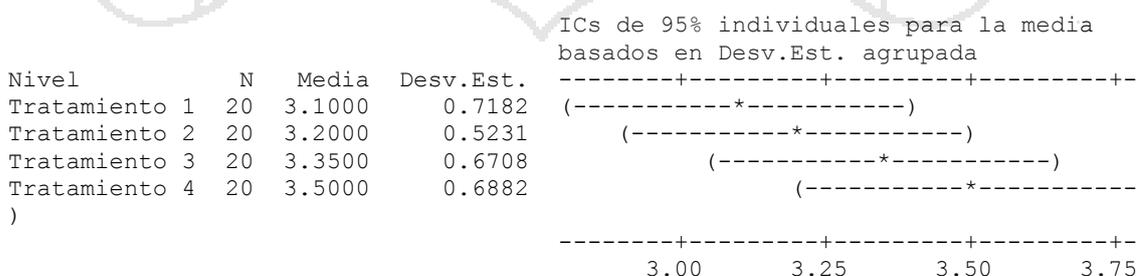
RESULTADOS DE LA EVALUACION SENSORIAL - (APARIENCIA GENERAL)					RESULTADOS DE LA EVALUACION SENSORIAL - (COLOR)				
JUECES	TRATAMIENTOS				JUECES	TRATAMIENTOS			
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4		Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Juez 01	4	2	3	4	Juez 01	3	3	4	3
Juez 02	4	4	4	5	Juez 02	3	3	5	4
Juez 03	4	3	3	3	Juez 03	2	4	3	4
Juez 04	3	4	3	3	Juez 04	4	4	3	4
Juez 05	3	3	4	3	Juez 05	3	3	3	3
Juez 06	2	3	4	4	Juez 06	3	4	4	4
Juez 07	4	3	3	5	Juez 07	4	4	4	5
Juez 08	3	3	4	4	Juez 08	4	4	4	3
Juez 09	3	2	4	2	Juez 09	2	2	3	3
Juez 10	3	4	2	5	Juez 10	4	3	5	4
Juez 11	2	2	2	2	Juez 11	3	3	3	3
Juez 12	3	4	4	5	Juez 12	4	3	4	4
Juez 13	2	2	2	2	Juez 13	3	3	3	3
Juez 14	3	3	3	3	Juez 14	3	3	4	5
Juez 15	3	3	3	3	Juez 15	4	3	3	4
Juez 16	3	3	3	3	Juez 16	2	4	3	4
Juez 17	3	3	3	3	Juez 17	3	3	3	3
Juez 18	4	3	4	5	Juez 18	4	4	4	5
Juez 19	3	2	4	2	Juez 19	5	2	3	3
Juez 20	3	4	2	2	Juez 20	3	3	3	3

RESULTADOS DE LA EVALUACION SENSORIAL - (SABOR)					RESULTADOS DE LA EVALUACION SENSORIAL - (OLOR)				
JUECES	TRATAMIENTOS				JUECES	TRATAMIENTOS			
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4		Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Juez 01	4	3	4	4	Juez 01	3	3	4	3
Juez 02	4	5	3	5	Juez 02	4	4	4	5
Juez 03	3	3	4	3	Juez 03	2	4	4	4
Juez 04	4	4	4	4	Juez 04	3	4	3	3
Juez 05	3	3	3	4	Juez 05	3	3	3	3
Juez 06	2	3	4	4	Juez 06	2	3	4	4
Juez 07	4	5	4	4	Juez 07	4	3	3	3
Juez 08	3	3	4	4	Juez 08	3	3	3	4
Juez 09	3	4	2	5	Juez 09	3	3	3	3
Juez 10	4	3	5	4	Juez 10	4	3	4	3
Juez 11	2	3	4	2	Juez 11	2	2	2	3
Juez 12	3	3	5	4	Juez 12	3	3	5	4
Juez 13	3	3	4	4	Juez 13	3	3	3	3
Juez 14	3	5	3	4	Juez 14	4	3	4	5
Juez 15	4	2	4	3	Juez 15	4	3	3	4
Juez 16	4	3	4	3	Juez 16	2	4	3	4
Juez 17	3	4	3	4	Juez 17	3	3	3	3
Juez 18	4	4	4	4	Juez 18	4	3	3	3
Juez 19	3	2	2	5	Juez 19	3	3	3	3
Juez 20	3	3	4	4	Juez 20	3	4	3	3

**APARIENCIA GENERAL**

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	3	1.837	0.612	1.43	0.241
Error	76	32.550	0.428		
Total	79	34.387			

S = 0.6544    R-cuad. = 5.34%    R-cuad.(ajustado) = 1.61%



Desv.Est. agrupada = 0.6544



Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
Tratamiento 4	20	3.5000	A
Tratamiento 3	20	3.3500	A
Tratamiento 2	20	3.2000	A
Tratamiento 1	20	3.1000	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 98.97%

**OLOR**

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	3	1.750	0.583	0.82	0.485
Error	76	53.800	0.708		
Total	79	55.550			

S = 0.8414    R-cuad. = 3.15%    R-cuad.(ajustado) = 0.00%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	IC Inferior	IC Superior
Tratamiento 1	20	3.1000	0.6407	2.70	3.50
Tratamiento 2	20	3.0000	0.7255	2.70	3.50
Tratamiento 3	20	3.2000	0.7678	2.70	3.50
Tratamiento 4	20	3.4000	1.1425	2.70	3.50

Desv.Est. agrupada = 0.8414

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
Tratamiento 4	20	3.4000	A
Tratamiento 3	20	3.2000	A
Tratamiento 1	20	3.1000	A
Tratamiento 2	20	3.0000	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 98.97%

**SABOR**

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	3	2.700	0.900	1.75	0.164
Error	76	39.100	0.514		
Total	79	41.800			

S = 0.7173    R-cuad. = 6.46%    R-cuad.(ajustado) = 2.77%

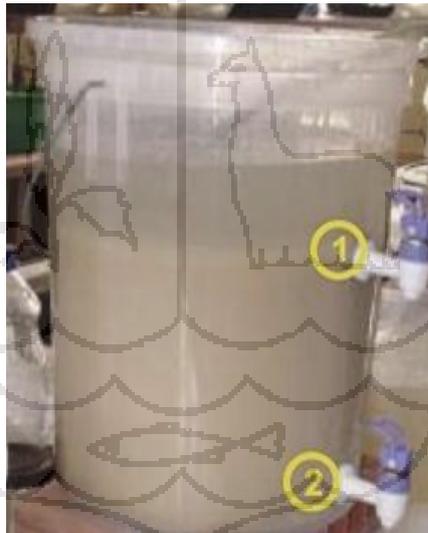
ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	IC Inferior	IC Superior
Tratamiento 1	20	3.3000	0.8013	2.70	3.50



**Anexo V: Exposición de Fotos**

Arcilla Chacko gris en estado natural recién extraído de la cantera.



Dilución del chacko gris: 1) extracto de nutrientes funcionales y 2) sedimentación de la arena y limo del chacko



Equipo de Atomización.



Partes del equipo de atomización.



Obtención del chacko gris instantáneo. Chacko gris atomizado (polvo)