



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

### DESAPONIFICADO DE QUINUA *Chenopodium quinoa* DEL ECOTIPO CHIMBORAZO MEDIANTE LECHO FLUIDIZADO PULSANTE.

Tesis previa a la obtención del título de ingeniera agroindustrial

**Autora:** Chingal Huaca Diana Karolina

**Director:** Dr. Ramón Cala Aiello PhD

Ibarra-Ecuador

2016



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**DESAPONIFICADO DE QUINUA *Chenopodium quinoa* DEL ECOTIPO**  
**CHIMBORAZO MEDIANTE LECHO FLUIDIZADO PULSANTE.**

Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**APROBADA:**

Dr. Ramón Cala Aiello, PhD

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Jimmy Cuarán.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Juan Carlos de la Vega, MSc

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Luis Armando Manosalvas

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**FIRMA**

**FIRMA**

**FIRMA**

**FIRMA**

**Ibarra – Ecuador**

**2016**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	0401644968		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Chingal Huaca Diana Karolina		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Tulcán, Calles Colón y Junín		
<b>EMAIL:</b>	dkaro3@yahoo.es		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0980545677	
DATOS DE LA OBRA			
<b>TÍTULO:</b>	Desaponificado de quinua <i>Chenopodium quinoa</i> del ecotipo Chimborazo mediante lecho fluidizado pulsante		
<b>AUTOR:</b>	Chingal Huaca Diana Karolina		
<b>FECHA:</b>	año mes día		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	PREGRADO	<input type="checkbox"/> POSTGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Agroindustrial		
<b>ASESOR / DIRECTOR:</b>	Dr. Ramón Cala Aiello PhD		

## **2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

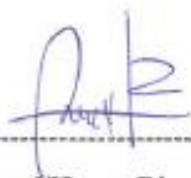
Yo, **Diana Karolina Chingal Huaca**, con cédula de identidad número 040164496-8, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo en la biblioteca de la universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, artículo 144.

## **3. CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de diciembre de 2016

**EL AUTOR:**



-----  
**Chingal Huaca Diana Karolina**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Chingal Huaca Diana Karolina, con cédula de identidad Nro. **040164496-8**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte y la Secretaría de Educación Nacional superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, los derechos patrimoniales consagrados en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6 en calidad de autor de la obra o trabajo denominado: **DESAPONIFICADO DE QUINUA *Chenopodium quinoa* DEL ECOTIPO CHIMBORAZO MEDIANTE LECHO FLUIDIZADO PULSANTE**, que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 15 días del mes de diciembre de 2016



---

Diana Karolina Chingal Huaca

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita Diana Karolina Chingal  
Huaca, bajo mi supervisión



---

Dr. Ramón Cala Aiello PhD

## DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, es original y soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de diciembre del 2016



---

Diana Karolina Chingal Huaca

## **DEDICATORIA**

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y por estar conmigo en cada paso que doy.

A mi mamá Jenny Huaca quien me brinda su amor y apoyo incondicional. De quien aprendí que la vida no es fácil, pero con esfuerzo y dedicación todo es posible; quien a pesar de las dificultades que se presentaron en su camino supo sobreponerse y sacar a nuestra familia adelante. Mamá gracias porque siempre confiaste en mí, todo esto te lo debo a ti.

A mi papá, hermanos y amigos quienes siempre estuvieron pendientes y son también fuente de energía cuando la necesito.

A Carlos Navarro quien supo brindarme su apoyo incondicional y me alentó para continuar cuando estaba a punto de rendirme.

A todos ellos agradezco desde el fondo de mi alma porque de una u otra forma contribuyeron para la culminación de este trabajo.

Diana Chingal.

## **AGRADECIMIENTO**



Al finalizar con este trabajo tan arduo y lleno de dificultades mi infinito agradecimiento a esta prestigiosa institución, Universidad Técnica del Norte la cual abrió sus puertas a jóvenes como yo, para mi formación académica.

A mi director de tesis Dr. Ramón Cala por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, experiencia y paciencia ante mi inconsistencia; supo guiarme en el camino hacia la culminación de este trabajo de investigación.

A mis asesores: Ing. Jimmy Cuarán, Ing. Armando Manosalvas e Ing. Juan de la Vega, por todo el apoyo y motivación brindada en el desarrollo de este proyecto de investigación que han sido fundamentales para mi formación como investigador.

A mi familia fuente de apoyo constante e incondicional durante toda mi vida

A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.

Diana Chingal

## **ÍNDICE DE CONTENIDO**

**CONTENIDO**

**PÁGINA**

ÍNDICE DE CONTENIDO .....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xiv
INDICE DE TABLAS .....	xv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvii
RESUMEN .....	<b>xix</b>
SUMMARY.....	<b>xx</b>
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Problema.....	1
1.2 Justificacion .....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general .....	<b>2</b>
1.3.2 Objetivos especificos.....	<b>3</b>
1.4 Hipotesis .....	3
1.4.1 hipótesis alternativa .....	<b>3</b>
1.4.2 hipótesis nula .....	<b>3</b>
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 Quinoa.....	4

2.1.1. Definición .....	4
2.1.2. Descripción taxonómica. ....	5
2.1.3. Descripción botánica. ....	5
2.1.4. Composición nutricional.....	7
2.1.5. Principales productos y elaborados a base se quinua. ....	8
2.1.6. Importancia de la quinua en el Ecuador. ....	8
2.2 Saponinas.....	9
2.3 Composición química del grano. ....	10
2.4 Variedades mas cultivadas en ecuador. ....	11
2.4.1 Ecotipo chimborazo.....	11
2.5 Proceso de desaponificado de quinua. ....	12
2.5.1. Desaponificado vía húmeda.....	13
2.5.2. Desaponificado por escarificacion.....	13
2.5.3. Desaponificado por el método combinado.....	14
2.5.4. Desaponificado mediante lecho fluidizado .....	14
2.6 Fluidización.....	15
2.6.1Definición. ....	15
2.6.2. Tipos de lechos. ....	15
2.6.3 Anomalías en un lecho fluidizado .....	16
2.6.4. Velocidades relacionadas en un lecho fluidizado.....	17
2.7. Estudio gasodinámico .....	20

2.7.1. Granulometría.....	20
2.7.2. Características de las partículas sólidas.....	21
2.7.3. Características de un lecho fluidizado. ....	23
2.7.4. Ventajas de la utilización de lecho fluidizado en la industria.....	24

### CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
3.1 Caracterización del área de estudio. ....	25
3.1.1 Ubicación del experimento.....	25
3.2 Materiales y equipos.....	25
3.2.1 Materia Prima .....	25
3.2.2 Equipos e instrumentos. ....	26
3.3 Métodos.....	27
3.3.1 Métodos de evaluación .....	28
3.3.2. Variables Evaluadas .....	34

### CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	37
4.1 Variables cuantitativas en el proceso de desaponificado de quinua. ....	38
4.1.1 Evaluación de los factores de estudio sobre la desaponificación de la quinua.....	38
4.1.2. Determinación del contenido de proteína para los mejores tratamientos y la materia prima. .....	44

4.1.3. Determinacion de la eficiencia del poceso de desaponificado mediante lecho fluidizado pulsante y del método tradiocional.....45

4.1.4. Evaluación sensorial de la quinua desaponificada en los mejores tratamientos.....46

#### CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 50

5.1 Conclusiones. ....50

5.2 Recomendaciones.....51

BIBLIOGRAFÍA..... 51

ANEXOS..... 55

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

CONTENIDO	PÁGINA
Grafico 1. Planta de quinua <i>Chenopodium quinoa</i> .....	5
Grafico 2. Fruto y partes de la semilla.....	7
Grafico 3. Distribución Geográfica de la producción de Quinoa 2014 .....	9
Grafico 4. Estructura química de la saponina .....	10
Grafico 5. Panoja típica del ecotipo Chimborazo .....	12
Grafico 6. Clasificación de los lechos según la velocidad del fluido .....	16
Grafico 7. Anomalías en un lecho fluidizado .....	17
Grafico 8. Relación de velocidad del fluido vs caída de presión a lo largo del lecho .....	18
Grafico 9. Esquema de la medición de la caída de presión .....	19
Grafico 10. Circulación de las partículas en un lecho fluidizado .....	19
Grafico 11. Vibrador con tamices.....	21
Grafico 12. Esquema de la instalación experimental.....	26
Grafico 13. Diagrama de proceso de desaponificado de quinua mediante lecho fluidizado pulsante.....	35
Grafico 14. Interacción de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y B (Velocidad de flujo de aire) en la variable contenido de saponina de la quinua. ....	42
Grafico 15. Interacción de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y C (Frecuencia de pulso) en la variable contenido de saponina de la quinua.....	42
Grafico 16. Contenido de saponina en las muestras de quinua desaponificada. ....	43
Grafico 17. Interacción de los factores B (relación quinua/arena) y C (velocidad de flujo de aire) en la variable contenido de saponina.....	59

Grafico 18. Contenido de saponina en las muestras de quinua desaponificada utilizando material inerte (arena común).....	60
Grafico 19. Interacción de los factores B (relación quinua/ arena) y C (velocidad de flujo de aire) en la variable contenido de saponina de quinua. ....	64
Grafico 20. Contenido de saponina en las muestras de quinua desaponificada utilizando material inerte (arena sílice). ....	65
Grafico 21. Interacción de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y B (Velocidad de flujo de aire) en la variable contenido de saponina de la quinua. ....	70
Grafico 22. Interacción de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y C (Frecuencia de pulso) en la variable contenido de saponina de la quinua.....	71
Grafico 23. Contenido de saponina en las muestras de quinua desaponificada mediante lecho fluidizado pulsante (sin testigo).....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
Tabla 1. Comparación de la composición química proximal de semilla de quinua con algunos cereales.....	7
Tabla 2. Variedades de Quinua que se producen es Ecuador .....	11
Tabla 3. Información climatológica del lugar del experimento.....	25
Tabla 4. Descripción de los rangos de la rugosidad de las paredes del reactor(A), velocidad de flujo de aire (B) y frecuencia de pulso (C). ....	29
Tabla 5. Características del experimento.....	29
Tabla 6. Análisis de Varianza.....	30
Tabla 7. Rangos de color .....	32

Tabla 8. Rangos de olor .....	32
Tabla 9. Rangos de Sabor .....	33
Tabla 10. Variables evaluadas en la experimentación.....	34
Tabla 11. Contenido de saponina expresado en porcentaje (%).....	38
Tabla 12. Análisis de varianza contenido de saponina de quinua <i>Chenopodium quinoa</i> ....	39
Tabla 13. Prueba de Tukey para tratamientos de la variable contenido de saponina de la quinua <i>Chenopodium quinoa</i> .....	40
Tabla 14. Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor A .....	41
Tabla 15. Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor B .....	41
Tabla 16. Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor C .....	41
Tabla 17. Contenido de proteína en los mejores tratamientos.....	44
Tabla 18. Prueba de Friedman para la variable Olor .....	46
Tabla 19. Resultado del cálculo en la variable olor.....	47
Tabla 20. Prueba de Friedman para la variable color .....	47
Tabla 21. Resultado del cálculo para la variable color.....	48
Tabla 22. Prueba de Friedman para la variable sabor.....	48
Tabla 23. Resultado del cálculo para la variable sabor .....	48
Tabla 24. Contenido de saponina expresado en porcentaje (%).....	56
Tabla 25. Análisis de varianza contenido de saponina de la quinua <i>Chenopodium quinoa</i> 57	
Tabla 26. Prueba de Tukey para tratamientos de la variable contenido de saponina de la quinua <i>Chenopodium quinoa</i> .....	58
Tabla 27. Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor B .....	58
Tabla 28. Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor C .....	59
Tabla 29. Contenido de saponina expresado en porcentaje (%).....	61



Tabla 30. Análisis de varianza contenido de saponina de la quinua <i>Chenopodium quinoa</i> .....	62
Tabla 31. Prueba de Tukey para tratamientos de la variable contenido de saponina de la quinua <i>Chenopodium quinoa</i> .....	63
Tabla 32. Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor B .....	63
Tabla 33. Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor C .....	64
Tabla 34. Contenido de saponina expresado en porcentaje (%) .....	67
Tabla 35. Análisis de varianza contenido de saponina de la quinua <i>Chenopodium quinoa</i>	67
Tabla 36. Prueba de Tukey para tratamientos de la variable contenido de saponina de la quinua <i>Chenopodium quinoa</i> .....	68
Tabla 37. Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor A .....	69
Tabla 38. Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor B .....	69
Tabla 39. Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor C .....	70

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
Fotografía 1. Adquisición de la materia prima. ....	35
Fotografía 2. Clasificadora. ....	36
Fotografía 3. Proceso de pesaje .....	36
Fotografía 4. Reactor de Lecho fluidizado pulsante .....	37

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
------------------	---------------

<b>Anexo 1.</b> Desaponificado de quinua con rugosidad cero. ....	55
<b>Anexo 2.</b> Desaponificado de quinua utilizando un material inerte (arena común). ....	56
<b>Anexo 3.</b> Desaponificado de quinua utilizando un material inerte (arena sílice). ....	61
<b>Anexo 4.</b> Desaponificado de quinua mediante lecho fluidizado pulsante (sin testigo).....	66
<b>Anexo 5.</b> Norma INEN 1672: Determinación del contenido de saponina por medio del método espumoso (método de rutina) .....	72
<b>Anexo 6.</b> Norma INEN 1670: Determinación de la proteína total.....	76
<b>Anexo 7.</b> Resultado del <i>Á</i> lisis de proteína de la materia prima y de los mejores tratamientos. ....	80

## **RESUMEN**

El desaponificado en seco de quinua para variedades amargas de quinua tiene varios beneficios respecto a las ofertas tecnológicas actuales: ahorro del consumo de agua, la no generación de efluentes contaminados con saponinas y la recuperación total de la saponina. La presente investigación tiene como objetivo desaponificar quinua mediante lecho fluidizado pulsante para lo cual se realizaron pruebas experimentales en el reactor de lecho fluidizado utilizando un ecotipo de quinua (amarga de Chimborazo) que fue adquirida en la ciudad de Ambato.

Muestras de quinua fueron procesadas de acuerdo al diseño experimental planteado, evaluándose el efecto de las variables: rugosidad de las paredes del reactor, velocidad de flujo de aire y frecuencia de pulso. Los resultados muestran claramente que el mejor tratamiento obtenido fue T4 (rugosidad de la pared del reactor 40, velocidad de flujo de aire 1.6 m/s, y frecuencia de pulso 150 pul/min) con un porcentaje de contenido de saponina de 0.09 porciento. El contenido de proteína en la quinua se mantuvo estable durante todo el proceso de desaponificado, con un valor de 12.2 %; y tampoco hay signos de daños en la superficie del grano.

Por lo tanto, se concluye que el proceso de desaponificado de quinua mediante lecho fluidizado pulsante logro eliminar el 75% de saponina de la quinua, aproximadamente lo que es un paso alentador para el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan optimizar este proceso.

## **PALABRAS CLAVE**

Desaponificado, Saponina, pulsaciones, quinua

## **SUMMARY**

The desaponification dry quinoa bitter varieties of quinoa has several benefits over current technology offerings: saving water consumption, non-contaminated effluent generation saponins and total recovery of saponin. This research is objective desaponificar quinoa Pulsed fluidized bed for which experimental tests were conducted in the fluidized bed reactor using one ecotype quinoa (bitter Chimborazo) which was acquired in the city of Ambato.

Quinoa samples were processed according to the experimental design raised, evaluating the effect of the variables: roughness of the dryer walls, air flow rate and pulse rate. The results clearly show that the best treatment obtained was T4 (roughness of the reactor wall  $196 \times 10^{-6}$  m, flow rate of air 1.6 m / s, and pulse frequency 150 pul / min) with a percentage of saponin content of 0.10%. The contents of protein in quinoa desaponificada are above the minimum levels established by INEN 1670 standard.

Therefore, it is concluded that the desaponification process of quinoa by pulsating fluidized bed was able to eliminate 75% of saponin from quinoa, which is an encouraging step for the development of new technologies to optimize this process.

## **KEYWORDS**

Disappointed, Saponin, pulsations, quinoa

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PROBLEMA

Aunque la desaponificación de la Quinua se ha logrado realizar por métodos secos abrasivos, aún persisten en la mayoría de los productores la utilización del método tradicional de lavado de la Quinua.

El método tradicional consiste en el lavado de los granos a mano, con frotación sobre una piedra y varios enjuagues. Es un proceso trabajoso y lento, que consume de 10 a 14 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de grano seco. Las aguas son generalmente vertidas a cauces superficiales, con efectos ambientales muy negativos para la fauna y la flora acuáticas (BAZILE, 2014).

Por otro lado, las saponinas tienen diversas aplicaciones en varias industrias: detergentes, alimentos, cerveza, cosméticos y farmacéuticas. Los precios de compuestos adecuadamente purificados (75%) son muy interesantes, por lo que su recolección y venta aumentaría el valor agregado a la Quinua (Corzo Barragán, 2011).

Por otra parte, entre 15 y 30 % de las saponinas se pierden en estos residuos, puesto que su recuperación no es económicamente viable. A esto se debería agregar que las saponinas “no solo se desperdician” sino que además contaminan los cursos de agua, en el lavado manual en las vertientes y cursos de agua y que, si bien no está contabilizada la pérdida monetaria por el desperdicio de las saponinas, tal vez se agregue un problema económico mucho más grave debido a la contaminación y al desequilibrio ecológico producido matando una gran parte de la fauna ictícola. (Gianna, 2013).

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La utilización de tecnologías para el procesamiento de la saponina en seco representa un alentador proceso industrial donde se lograría disminuir el gasto de energía y un aumento considerable en la recuperación y posterior utilización de la saponina extraída de la Quinoa, pero hasta la fecha adolece del suficiente estudio e investigación que nos permita definir cuál proceso industrial en seco es más eficiente para su aplicación.

Entre los métodos más conocidos para el procesamiento industrial de granos están las técnicas de fluidización, siendo el lecho fluidizado pulsante una de las más novedosas y utilizada con éxito en el secado y beneficiado de arroz, café y otros granos (Fadhil et al, 2014)

Debido a la gran movilidad del lecho fluidizado pulsante, lo hace ideal para su utilización en el proceso de escarificación en seco de la Quinoa y separación de materiales extraños al grano por métodos no invasivos, donde puede ser controlado el porcentaje de roturas en los granos.

La relevancia de la investigación puede resumirse en los siguientes aspectos: Aun considerando las mejoras en los procesos de desaponificado de los últimos tiempos, el consumo energético es aún elevado, principalmente en la etapa de secado de los granos, el consumo de agua de aproximadamente 10 a 14 m<sup>3</sup>/TM, en la etapa de lavado de los granos, debe considerarse elevado sobre todo por el incremento productivo que se espera en los próximos años, también la pérdida de alrededor de 15 % de las saponinas presentes y la contaminación de los cuerpos de agua.

La implementación de una propuesta tecnológica que pueda reducir estos indicadores, mejorando la eficiencia energética, reduciendo el consumo de agua, reduciendo los efluentes contaminados con saponinas y recuperando el polvo de saponina, mejoraría la economía de las empresas beneficiadoras.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Desaponificar Quinoa *Chenopodium quinoa* mediante lecho fluidizado pulsante.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar el efecto de la rugosidad de las paredes del reactor, velocidad de flujo de aire y frecuencia de pulso sobre la desaponificación de la quinua.
- Evaluar el contenido de proteína de la materia prima y del producto desaponificado, a los mejores tratamientos.
- Comparar la eficiencia del producto desaponificado por el método de lecho fluidizado pulsante y el método tradicional
- Determinar las características organolépticas (color, olor, sabor) de la quinua desaponificada en los mejores tratamientos.

## **1.4 HIPÓTESIS**

### **1.4.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA**

**Hi:** La rugosidad de las paredes del reactor, velocidad de flujo de aire y la frecuencia de pulso tienen influencia sobre la desaponificación de quinua mediante lecho fluidizado pulsante.

### **1.4.2 HIPÓTESIS NULA**

**Ho:** La rugosidad de las paredes del reactor, velocidad de flujo de aire y la frecuencia de pulso no tienen influencia sobre la desaponificación de quinua mediante lecho fluidizado pulsante.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 QUINUA.**

##### **2.1.1. DEFINICIÓN**

La quinua *Chenopodium quinoa* es una planta herbácea anual, que junto al chocho y amaranto integran el grupo de los granos andinos subutilizados. (Villacrés 2011)

La Quinua *Chenopodium quinoa* es un cultivo con alto potencial para contribuir con la seguridad alimentaria en todas las regiones del mundo. El cultivo posee notable capacidad de adaptación a diferentes regiones agroecológicas y gradiente altitudinal. Aunque los principales países productores son Perú, Bolivia y Ecuador, la producción de quinua se está expandiendo a otros continentes y actualmente se cultiva en varios países (Alberto et al., 2014).

Basándonos en su valor nutricional, esta semilla se puede comparar en energía a alimentos consumidos similares como frijoles, maíz, arroz o trigo. La quinua se destaca por ser una buena fuente de proteínas de calidad, fibra dietética, grasas poliinsaturadas y minerales. (Haro et al., 2015)

La quinua es un grano que es reconocido como nutritivo debido a la cantidad y calidad de su contenido de proteína, que oscila entre 10 y 17 % dependiendo de la variedad, además de algunos minerales como: hierro, potasio, vitaminas B2, B5 y E, entre otros constituyentes como los aminoácidos.





**Grafico 1.** Planta de quinua *Chenopodium quinoa*

Fuente: (Villacrés 2011)

## **2.1.2. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA.**

Subclase: Angiosperma

Orden: Centropermales

Familia: Chenopodiaceas

Género: *Chenopodium*

Sección: Chenopodia

Subsección: Cellulata

Especie: *Chenopodium quinoa*

## **2.1.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.**

### **2.1.3.1. Planta.**

El tipo de crecimiento es herbácea, de un porte erecto, de 100 a 142 cm de altura, su inflorescencia forma una panoja de diversos colores (Púrpura, morado, verde, amarillo, rojo, blanco) y también se pueden tener mezclas de colores en una misma panoja (Sanchez, 2013).

### **2.1.3.2. Flores.**

La inflorescencia es una panoja típica, constituida por un eje central, ejes secundarios y terciarios, que sostienen a los glomérulos (grupos de flores). La longitud de la panoja varía entre 29 a 55 cm y el diámetro entre 6,0 y 12,7 cm. La panoja puede llegar a un peso de 91,10 g a 114 g, incluyendo el grano. Cuando los glomérulos nacen del eje secundario, la

panoja es glomerulada; si los glomérulos nacen de ejes terciarios, la panoja es amarantiforme y si los ejes son largos, la panoja es laxa. (Sanchez, 2013).

#### **2.1.3.3. Fruto.**

El fruto es un aquenio, formado por el perigonio en forma de estrella que contiene la semilla, el fruto cuando está maduro su color puede ser gris, amarillo, rojizo, café o negro.

Los frutos de la quinua cultivada tienen un borde afilado, mientras que las quinuas silvestres lo tienen redondeado. La madurez fisiológica del fruto se da entre los 16 y 18%, dependiendo de la variedad, lo cual es indicador de la cosecha.

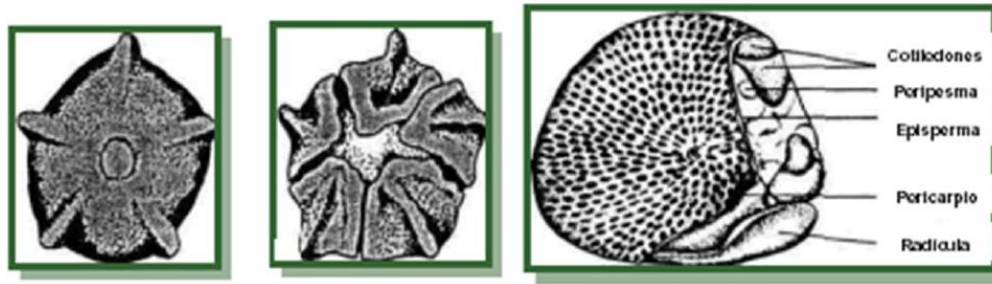
#### **2.1.3.4. Semilla.**

La semilla o grano pueden medir entre 1,8 mm a 2 mm de diámetro, el color de la semilla puede ser amarillo, café, crema, plomo, blanco o translúcido dependiendo de la variedad.

Los granos de quinua tienen formas diferentes: cónicos, cilíndricos y elipsoidales. En este pseudocereal se puede identificar el endosperma (cotiledones y radícula), el perisperma (granos de almidón) y el episperma (capas externas que recubren la semilla).

Según algunos estudios, el episperma tiene las siguientes características:

El episperma está constituido por 4 capas, una externa de superficie rugosa, quebradiza, la cual se desprende fácilmente al frotarla, en ella se ubica la saponina que le da el sabor amargo al grano y cuya adherencia a la semilla es variable con los genotipos, la segunda capa es muy delgada y lisa, la tercera capa es de coloración amarillenta, delgada y opaca y la cuarta capa, translúcida, está constituida por un solo estrato de células, esta última unida a un perisperma compacto con ausencia de espacios de aire. El embrión, formado por 2 cotiledones y la radícula, constituye  $\approx$  el 30 % del volumen total de la semilla, en él se encuentra la mayor cantidad de proteína y envuelve al perisperma (constituido por almidón) como un anillo. (Ledezma & Vásquez, 2010)



**Grafico 2.** Fruto y partes de la semilla.

Fuente: (Sanchez, 2013)

#### 2.1.4. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL.

Las semillas de quinua son una excelente fuente de proteínas, lípidos y carbohidratos, el embrión ocupa una mayor proporción de la semilla que en los cereales comunes, por lo que el contenido de proteína y aceite son relativamente altos. (Valencia 2011)

Nowak *et al.*(2015) realizaron una revisión general con el propósito de evaluar los datos de composición existentes sobre quinua y observaron amplias variaciones en el contenido de nutrientes de la quinua por 100 g de porción comestible, por ejemplo: proteína (9,1-15,7 g), grasa total (4,0-7,6 g) y fibra dietética (8,8-14,1 g); las variaciones de los valores de nutrientes entre diferentes variedades y entre las diferentes fuentes de datos fueron considerables; los resultados mostraron el potencial nutricional de la quinua, pero también demostraron que más datos analíticos de alta calidad sobre la quinua son necesarios, especialmente para minerales y vitaminas.

El contenido de proteína de la quinua se encuentra estrechamente cercano entre los del trigo y la avena, mientras que los de arroz, maíz y cebada son menores (Arendt & Zannini, 2013)

El consumo de quinua se ha incrementado últimamente debido a sus características nutricionales superiores a la de otros granos. Este alimento puede ser recomendado en etapas de crecimiento y de desarrollo. Además, se pueden elaborar una gran cantidad de recetas.

**Tabla 1.** Comparación de la composición química proximal de semilla de quinua con algunos cereales.

Proximales* (g/100 g)	Quinoa <sup>1</sup>	Trigo <sup>2</sup>	Arroz <sup>3</sup>	Maíz <sup>4</sup>	Cebada <sup>5</sup>	Avena
Humedad	13,28	10,94	11,62	10,37	10,09	8,22
Proteína	14,12	13,68	7,13	9,42	9,91	16,89
Grasa	6,07	2,47	0,66	4,74	1,16	6,90
Carbohidratos†	64,16	71,13	79,95	74,26	77,72	66,27
Cenizas	2,38	1,78	0,64	1,20	1,11	1,72

Fuente: USDA/ARS (2014) 1 No cocida. 2 *Durum*. 3 Blanco, grano largo, regular, crudo, no enriquecido. 4 Blanco. 5 Perlada, cruda. Incluye fibra cruda.

### 2.1.5. PRINCIPALES PRODUCTOS Y ELABORADOS A BASE SE QUINUA.

En Ecuador, el procesamiento de la quinua se concentra en el lavado y/o escarificado (perlado) del grano para eliminar la saponina, así mismo, se realiza un proceso de clasificación tanto por tamaños y por color para garantizar la calidad del producto, entre otros. Adicional a la quinua en grano con calidad de exportación, se realizan otros productos que brindan mayor valor agregado. Entre la variedad de productos elaborados a base de quinua, se pueden encontrar: barras energéticas, bebidas que incluyen quinua con sabor a frutas, cereales, granolas para el desayuno, chocolates con quinua, mezclas de harina de quinua, pop de quinua, hojuelas de quinua, quinotto, papillas a base de cereales con quinua, galletas, pan con porcentaje de sustitución de harina de quinua, pastas, pinol, entre otros. (*Análisis Sectorial Quinua 2015*, 2015)

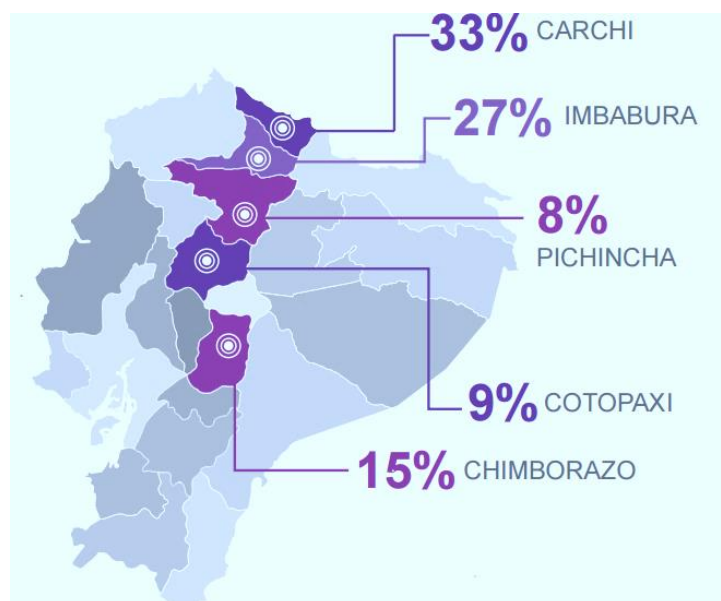
La quinua actualmente se ha convertido en un alimento muy apetecido por los consumidores debido a su alto valor nutricional por lo cual se han desarrollado una serie de productos elaborados a base de la misma tales como: sopas, galletas, leche, etc.

### 2.1.6. IMPORTANCIA DE LA QUINUA EN EL ECUADOR.

En Ecuador, la quinua se puede producir en las 10 provincias de la Sierra, con un área potencial de cien mil hectáreas.

La provincia del Carchi se caracteriza por ser la que produce mayor cantidad de quinua en el país, seguida de la provincia de Imbabura y de Chimborazo. (*Estrategia Fomento a la Producción de la Quinua en la Sierra Ecuatoriana*, 2015)

**Grafico 3.** Distribución Geográfica de la producción de Quinua 2014



**Fuente:** Subsecretaría de Comercialización, MAGAP

## 2.2 SAPONINAS.

El término saponina se deriva de la palabra Latina *sapo*, que significa “jabón”, lo que refleja su disposición para formar espumas estables parecidas al jabón en soluciones acuosas. El rol biológico de las saponinas no es comprendido completamente, pero generalmente son consideradas como parte del sistema de defensa de las plantas contra patógenos y herbívoros, especialmente debido a su sabor amargo (Mazón & Peralta, 2014).

Las saponinas son glucósidos que se hallan presentes en gran variedad de plantas. Se caracterizan por su sabor amargo, su capacidad de formar espumas persistentes en soluciones acuosas y por su poder hemolítico. Constituyen compuestos sumamente tóxicos para animales de sangre fría y respiración branquial (Zavaleta, 2010).

Las saponinas en el organismo ocasionan dolor estomacal, náuseas y ligera diarrea, pero su principal efecto es producir la hemólisis de los eritrocitos y afectar el nivel de colesterol en el hígado y la sangre, con lo que puede originarse un detrimento en el crecimiento, a través de la acción sobre la absorción de nutrientes. (Armada et al. 2013).

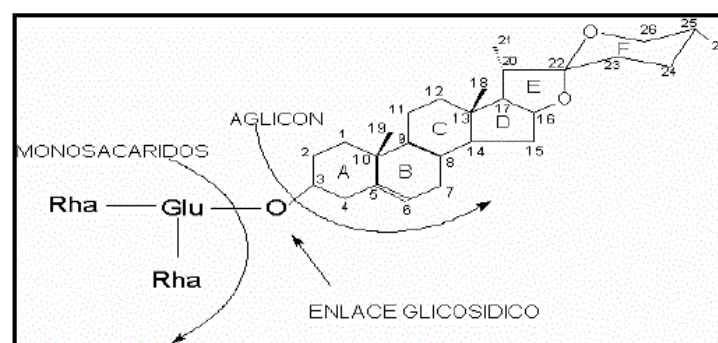
Las saponinas se constituyen en una familia de compuestos de gran interés para la Industria, particularmente las saponinas de la quinua han mostrado un efecto inhibitorio de hongos, como *Botrytis cinérea*, toxicidad frente a camarones, actividad antiviral y actividad molusquicida, contra el caracol que afecta cultivos de arroz *Pomacea canaliculata*, por lo que se ha propuesto su uso en agricultura habiéndose ya registrado un biopesticida en base a saponinas de quinua en la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (EPA, Environmental Protection Agency) con el nombre de Heads Up, destinado básicamente al control de hongos y enfermedades (Lozano et al., 2012).

El contenido de saponina varía entre 0 - 3% en granos secos, aunque se han reportado variedades con contenidos de saponina de hasta 4%. Granos muy amargos se clasifican en 1 y 3%, granos de contenido medio entre 0,1 y 1% y variedades dulces de 0,0 a 0,1% (Ledezma & Vásquez, 2010).

### 2.2.1 ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA SAPONINA.

Las saponinas son productos naturales derivados de distintas especies vegetales tales como yuca, ginseng, quinoa, quilla, cañihua etc. Estas moléculas están clasificadas, por su estructura, como glucósidos esteroidales o triterpénicos, se caracterizan por las propiedades semejantes a las del jabón: cada molécula está constituida por una parte lipofílica (esteroidal o terpenica) y otra hidrofílica (glicosidos) (Guzmán et al., 2015).

**Grafico 4.** Estructura química de la saponina



Fuente: Orestes J., Nogueiras C.2008

Las saponinas son glicósidos en los cuales varias unidades de monosacáridos se enlazan mediante un enlace glicosídico a un resto denominado aglicón o sapogenina. El aglicón es de naturaleza triterpénica. Se clasifican de acuerdo al número de cadenas de azúcar en la estructura como mono, di, o tridesmosídicos. Las saponinas monodesmosídicas tienen una

cadena de azúcar simple, normalmente localizada en el C-3. Las saponinas bidesmosídicas tienen dos cadenas de azúcar, una de ellas generalmente enlazada al C-3 a través de un enlace éter y la otra enlazada al C-18 o al C-26 través de un enlace ester. Los monosacáridos más comunes son la D-glucosa, D-galactosa, D-ácido glucorónico, D-ácido galacturónico, L-ramnosa, L-arabinosa, D-xilosa y D-fructosa. Son cuatro los aglicones que han sido identificados en las saponinas de quinua: ácido oleonólico, ácido fitolaccagénico, hederagenina, algunos autores indican el ácido serjanico como el cuarto aglicón y otros el ácido espergulagénico (Nascimento et al., 2014).

## 2.3 VARIEDADES MÁS CULTIVADAS EN ECUADOR.

En 1986, el Programa de Cultivos Andinos del INIAP entregó las primeras variedades mejoradas de quinua: INIAP-Imbaya e INIAP-Cochasquí, consideradas amargas por su alto contenido de saponinas (superior al 0,1%). El posterior interés en obtener variedades con menor contenido de saponina hizo que luego de ocho años de investigación se entregara dos variedades dulces (contenido de saponina inferior a 0,1%): INIAP-Ingapirca e INIAP-Tunkahuan. En el año 2008 el programa Nacional de leguminosas y Granos Andinos desarrolló la variedad INIAP-Pata de Venado, precoz y también con bajo contenido de saponinas. Las variedades vigentes en el mercado actual son INIAP-Tunkahuan e INIAP-Pata de Venado debido a su adaptabilidad, menor uso de agua en el desamargado, vía húmeda y escarificado rápido (vía seca) (Villacrés et al., 2011).

**Tabla 2.** Variedades de Quinua que se producen en Ecuador

VARIEDAD	ALTURA PLANTA	DIAS FLORAC	DIAS COSECHA	COLOR GRANO	CONTENIDO DE SAPONINA	RENDIM Kg/ha Promedio	ALTITUD OPTIMA M
<b>INIAP TUNKAHUAN</b>	150	109	180	Blanco	Bajo 0.06%	2000	2600- 3200
<b>INIAP PATA DE VENADO</b>	75	73	150	Blanco	Bajo 0.05%	1400	3000- 3600

Fuente: (Villacrés et al., 2011)

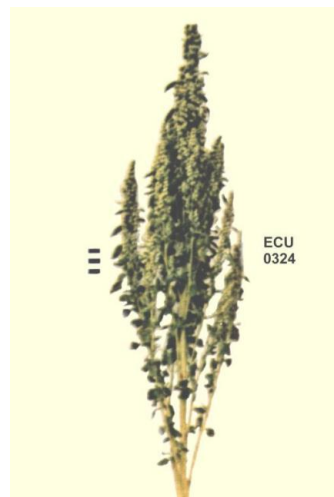
### 2.3.1 ECOTIPO CHIMBORAZO.

Este tipo de quinua se produce actualmente en Ecuador en pequeñas cantidades debido a que este ecotipo contiene un nivel elevado de saponina (0,3-0,45%), lo que significa que

para desaponificarla se necesita de una mayor cantidad de recursos, entre ellos agua y energía. Lo que provoca contaminación ya que las aguas con saponinas son vertidas a los cauces. Es por ello que en el país se producen las variedades dulces como la INIAP Tunkahuan e INIAP pata de venado (Castillo et al., 1989).

### **2.3.1.1 Descripción de la planta.**

Hábito ramificado de más de 2 m de altura. La panoja del eje principal y las secundarias dan a la planta el aspecto de una pirámide muy puntiaguda característica, los colores pueden ser: verde, púrpura y rojo. Las hojas triangulares grandes de 9 a 11 cm de largo y 9 a 10 cm de ancho, los bordes de las hojas onduladas y dentadas (Castillo et al., 1989).



**Grafico 5.** Panoja típica del ecotipo Chimborazo

Fuente: (Castillo et al., 1989)

## **2.4 PROCESO DE DESAPONIFICADO DE QUINUA.**

La quinua atraviesa distintos procesamientos post-cosecha antes de llegar a la esfera del consumo. En primer lugar, debe ser beneficiada o mejorada, términos que aluden al conjunto de procedimientos aplicados para eliminar la saponina. Las técnicas empleadas con este fin varían según el ecotipo, ya que éstos difieren en su contenido de saponina. Para un mismo ecotipo, sin embargo, las formas de mejoramiento varían también de acuerdo con el destino culinario deseado: graneado, pop quinua o en florcita, harina de granos tostados, sopa, entre otros (López, et al., 2012).



El grano de quinua en su corteza posee saponinas de carácter triterpénico, lo que le da el carácter amargo. Con la finalidad de extraer la saponina del grano, se han desarrollado dos métodos: el método húmedo, que consiste en lavar los granos de quinua, y el método seco o escarificado que consiste en la separación del epispermo por medio de dispositivos mecánicos con fricción de los granos contra las paredes de un cilindro escarificador (Guzmán et al., 2015)

#### **2.4.1. DESAPONIFICADO VÍA HÚMEDA.**

Los campesinos y las amas de casa utilizan tradicionalmente los procesos húmedos. Consisten en sucesivos lavados del grano en agua, haciendo fricción con las manos o una piedra para facilitar la eliminación de las primeras capas. Ello es demasiado laborioso cuando se trata de grandes cantidades de quinua, por lo que no constituye una alternativa práctica (Rojas et al., 2010)

La vía húmeda puede consumir cantidades importantes de agua, no siendo inusual una relación de 7:1 en masa (7 toneladas de agua por tonelada de quinua lavada). La mayor parte de esta agua, que contiene cantidades variables de saponinas en solución, es expulsada de la planta como efluente, sin someterla a ningún tratamiento de descontaminación (Zavaleta, 2010).

#### **2.4.2. DESAPONIFICADO POR ESCARIFICACIÓN.**

También se conoce como el método seco y consiste en someter el grano a un proceso de fricción, para eliminar de forma de polvo las capas periféricas del grano, que son las que contienen la saponina (Nieto & Vimos, 1992).

Con el método por vía seca o escarificado de los granos de quinua pierde entre 6 a 8% de la cascarilla (saponina), pero se consigue eliminar hasta el 90% del contenido de la saponina. Posteriormente se pasa al proceso de lavado por vía húmeda donde se elimina lo que resta de la saponina. El proceso de lavado no debe ser de más de 30 segundos, de lo contrario, el grano tiende a remojarse demasiado. Luego se pasa al proceso del enjuagado, proceso por el cual se elimina el 100% del contenido de saponina. El siguiente proceso es el de centrifugado donde se elimina parte del agua para facilitar el proceso de secado, el cual dura

de 2 a 3 minutos, y se elimina gran parte del agua del grano quedando entre 25 y 30% de agua. Esta cantidad de 122 Tecnologías de procesamiento agroindustrial de los granos andinos agua retenida por el grano se elimina por métodos de secado, ya sea por medio de colectores solares y/o intercambiadores a gas. El tiempo que dura el proceso de secado es de 20 a 30 minutos por lote (Rojas et al., 2010).

#### **2.4.3. DESAPONIFICADO POR EL MÉTODO COMBINADO.**

Considerando por un lado los inconvenientes del desaponificado por el método húmedo y que el método seco no es eficiente para las variedades de alto contenido de saponina se asegura que para este tipo de variedades lo más aconsejado es un método combinado; es decir primero se aplica un escarificado con lo que se elimina un alto porcentaje de saponina y luego se somete a un lavado final para eliminar el remanente. De esta forma, el grano no es expuesto por demasiado tiempo a la humedad y el proceso de secado es mucho más rápido y barato (Nieto & Vimos, 1992).

#### **2.4.4. DESAPONIFICADO MEDIANTE LECHO FLUIDIZADO.**

La fluidización tiene lugar cuando una corriente de gas pasa a través de un lecho de partículas y a medida que aumenta la velocidad del gas las partículas se alejan entre si hasta convertirse en una masa suspendida y expandida; de esta forma, la masa alcanza a tener un ángulo de reposo igual a cero por lo que busca su propio nivel y adopta la forma del recipiente que le contiene presentando una gran superficie efectiva de contacto entre el alimento y el aire y con ello altas velocidades de transferencia de masa y calor, reducción en el tiempo de proceso y reducción en el deterioro nutricional del alimento durante el proceso (Santacruz et al., 2010)

En la investigación sobre desaponificado en seco mediante la aplicación de un reactor de lecho fluidizado se evaluó la calidad de los granos procesados en los reactores construidos. Los parámetros que se evaluaron fueron el contenido de saponinas, proteína y materia grasa de los granos desaponificados así como su morfología.

Muestras de quinua fueron sometidas a diferentes condiciones de operación en los reactores construidos, escala laboratorio y escala prototipo piloto.

Aunque, todas las muestras de quinua procesadas en los reactores de lecho fluidizado fueron desaponificadas, algunas hasta niveles de saponina por debajo de los niveles de aceptación del consumidor, sin alteraciones considerables en la morfología y valor nutricional de las mismas, el proceso de desaponificación no es homogéneo cuando las muestras se tratan en el reactor grande, usando la boquilla de mayor diámetro (3,4 mm). Por el contrario, muestras tratadas en el reactor pequeño, usando boquillas de menor diámetro (1,4 mm), tienen una mejor remoción de saponina y del episperma, llegando a niveles de saponina por debajo de 0,12 %, por lo que el tiempo de procesamiento podría ser menor a 30 min (Ledezma & Vásquez, 2010).

## **2.5 FLUIDIZACIÓN.**

### **2.5.1 DEFINICIÓN.**

La fluidización es una operación en la cual se utiliza una corriente ascendente de un fluido para suspender las partículas sólidas que conforman un lecho. Este efecto hace que el comportamiento de los sólidos se aproxime al de un fluido; de ahí que el conjunto de partículas suspendidas se conozca como lecho fluidizado (González 2014).

Por lo general se hace circular el fluido en forma ascendente a través de un tubo vertical, en su base se asienta el lecho de partículas sólidas, cuando el aire lo atraviesa a baja velocidad pasa a través de los huecos libres que quedan entre granos y no es capaz de moverlos, este estado se conoce como lecho fijo (Jaramillo & Narváez2012).

### **2.5.2. TIPOS DE LECHOS.**

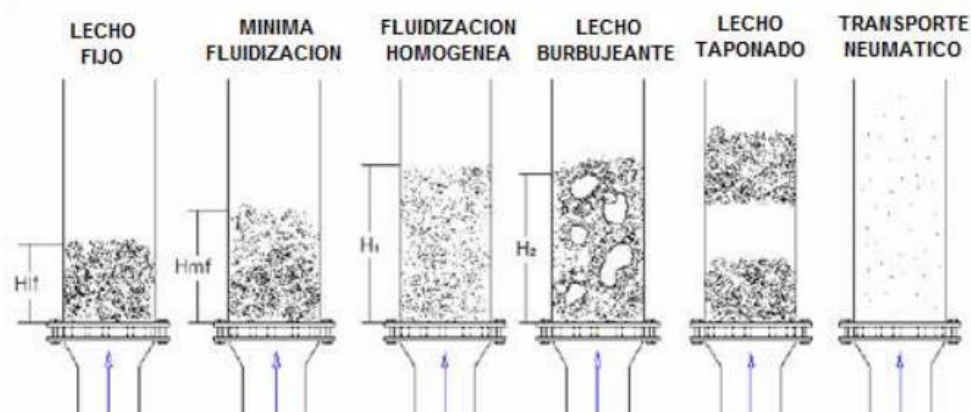
Si se aumenta la velocidad del flujo se provocará un aumento en el gradiente de presión. Cuando la pérdida de presión se acerque al valor del peso del lecho por unidad de superficie de sección transversal al flujo, los granos comienzan a moverse. En este punto comienza la fluidización (Fontal & Mauricio, 2006).

- a. *Lecho fijo*: cuando la velocidad es mínima, las partículas permiten el paso del fluido sin separarse, por lo que la altura del lecho y la fracción de vacía o porosidad se mantienen

constantes. En este estado el fluido experimenta una caída de presión elevada y el movimiento de las partículas se limita a pequeñas vibraciones (González 2014).

b. *Lecho prefluidizado (lecho expandido)*: al aumentar la velocidad, se alcanza un valor a partir del cual todas las partículas se afectan. El lecho en su conjunto se expande, aumentando su volumen, la porosidad y la caída de presión, la cual alcanza un máximo. Se trata de un estado de transición entre el lecho fijo y el fluidizado (González, 2014).

c. *Lecho fluidizado*: al continuar el incremento de la velocidad del gas, las partículas quedan suspendidas en el medio, aumentando la porosidad del lecho. En este estado la fuerza de fricción entre el fluido y las partículas se equilibra con el peso de éstas, y desaparece la componente vertical de las fuerzas de compresión y adyacentes entre las partículas, lo que da lugar a la estabilización de la caída de presión (González, 2014).

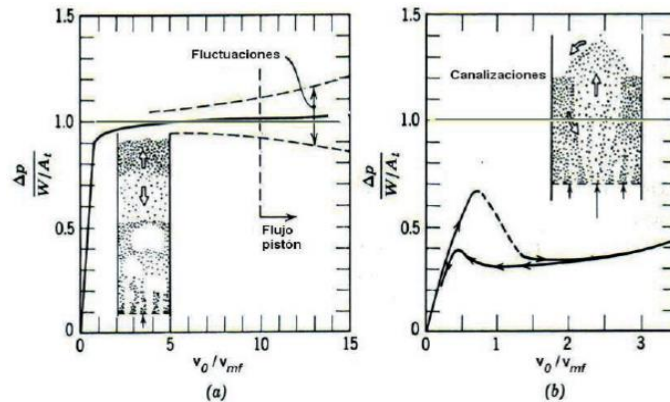


**Grafico 6.** Clasificación de los lechos según la velocidad del fluido

Fuente: Jaramillo Calle, Angélica María, 2010

### 2.5.3 ANOMALÍAS EN UN LECHO FLUIDIZADO.

La figura corresponde al comportamiento idealizado: (a) fluctuaciones en la caída de presión son atribuidas al fenómeno llamado flujo pistón, en el cual burbujas empujan grandes cantidades de partículas. Por otro lado, (b) la presencia de caminos preferenciales para el paso del gas produce la anomalía de canalización, con valores de caída de presión inferiores a lo esperado. Estas dos anomalías empobrecen el contacto fluido-partícula, motivo por el que deben evitarse o al menos minimizarse (Reyes, 2010).



**Gráfico 7.** Anomalías en un lecho fluidizado

Fuente: (Reyes Salinas, 2010)

Cuando el aire es forzado a desplazarse a través de los intersticios existentes entre las partículas que constituyen un lecho poroso, existe una resistencia ofrecida por el lecho que implica en una caída de presión, causada por la disipación de energía motivada por la turbulencia y fricción del fluido. (Telis & Sobral, 2003).

#### 2.5.4. VELOCIDADES RELACIONADAS EN UN LECHO FLUIDIZADO

En un lecho fluidizado se relacionan cuatro diferentes tipos de velocidades que se presentan en diferentes fases o tipos de lecho, éstas son las siguientes:

- Velocidad superficial del gas  $U_0$
- Velocidad mínima de fluidización  $U_{mf}$
- Velocidad terminal  $U_t$
- Velocidad mínima de burbujeo  $U_{mb}$ .

(Mikhalev, 2010)

##### 2.5.4.1. Velocidad superficial del gas ( $U_0$ ).

Se puede entender como la velocidad en función del área transversal del lecho, se determina cuando en la columna no existen partículas y solo fluye el gas (aire). Se obtiene con la siguiente fórmula:

**Ecuación 1:** Velocidad Superficial del gas

Ec 1

$$U_0 = \frac{m}{\rho g \epsilon_m A t}$$

Dónde:

$U_0$ : Velocidad superficial del gas [m/s]

$\epsilon_m$ : porosidad del lecho

$\rho g$ : Densidad de la masa

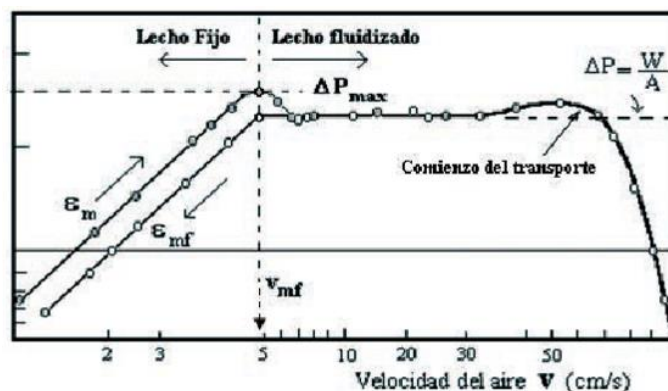
$m$ : Masa [m]

$A$ : Área transversal de la columna

### 2.5.4.2. Velocidad mínima de fluidización ( $U_{mf}$ ).

Se presenta con el aumento mínimo del caudal en el lecho. Se llega a un punto donde las partículas sólidas se encuentran en estado de suspensión causado por el flujo ascendente del gas. Dicho flujo crea una fuerza de arrastre que equilibra la fuerza de gravedad, haciendo que se muevan y se puedan levantar. La ( $U_{mf}$ ) corresponde a una situación homogénea, en donde no se toman en cuenta las burbujas. (Ibarz & Ribas, 2005).

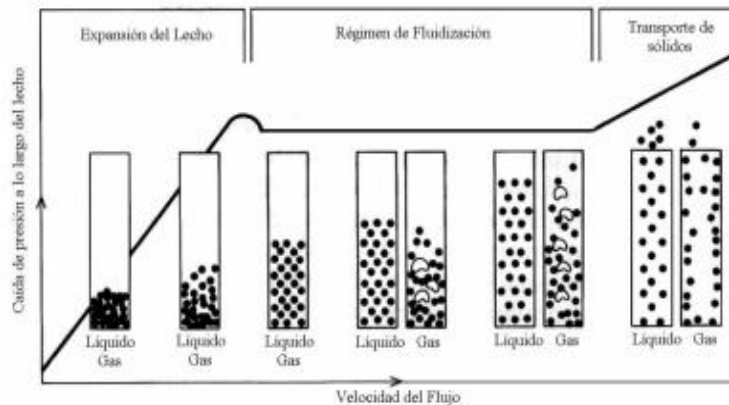
La velocidad mínima de fluidización experimental se determina mediante el análisis de una de las gráficas de la velocidad vs la caída de presión; velocidad vs altura del lecho, así como velocidad vs porosidad del lecho. El análisis consiste en ver la tendencia de la curva. Donde hay un cambio es donde se ubica el rango de la velocidad mínima de fluidización. Tanto la velocidad teórica como la experimental deben estar cercanas entre sí, para poder decir que el dato obtenido de  $U_{mf}$  es correcto (Aldaco et al., 2005).



**Grafico 8.** Relación de velocidad del fluido vs caída de presión a lo largo del lecho

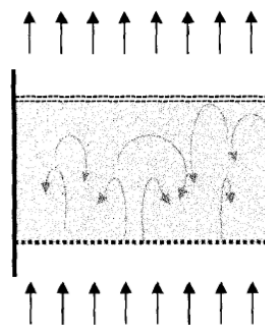
Fuente: (Valdez, 2008)

- **Caída de presión.** Cuando el aire fluye de manera ascendente a través del lecho fijo sin ninguna restricción en la superficie, la caída de presión  $\Delta P$  incrementa linealmente con la velocidad del fluido hasta el punto en que el grano empieza a levantarse, es decir que la fuerza del aire equilibra al peso del grano, la caída de presión en este punto se mantiene constante, como se observa a continuación (Jaramillo & Narváez, 2012).



**Gráfico 9.** Esquema de la medición de la caída de presión

Fuente: (Reyes Salinas, 2010)



**Gráfico 10.** Circulación de las partículas en un lecho fluidizado

La velocidad de mínima fluidización se puede determinar sobre la base de fórmulas teóricas, así como sobre la base de una serie de fórmulas empíricas. Todas estas fórmulas fueron obtenidas bajo ciertas condiciones, por ejemplo, rango de tamaño de partícula, densidad del gas fluidizante, densidad de las partículas, rango de número de Reynolds y número de Arquímedes. También algunas correlaciones están destinados a la distribución del tamaño de partícula de baja dispersión y por lo tanto el valor real de la velocidad mínima de fluidización para la cama multidispersa con una distribución de partículas mucho más amplia puede diferir del valor calculado.

### **2.5.4.3. Velocidad de arrastre.**

Si la velocidad del fluido ascendente aumenta, se puede alcanzar la llamada velocidad de arrastre o terminal, que representa la velocidad para la cual el lecho es arrastrado por el aire.

A grandes velocidades del fluido se produce el arrastre aerodinámico de las partículas, es decir que son transportadas fuera del lecho, este proceso se conoce como elutriación (Ibarz & Ribas 2005).

### **2.5.4.4. Velocidad mínima de burbujeo ( $U_{mb}$ ).**

Se presenta en el momento de la expansión homogénea y aparece la primera burbuja. La forma ideal del cálculo de la velocidad es con el aislamiento de una sola burbuja que se comienza a suspender en un recipiente de diámetro grande para evitar que choque en las paredes de la columna.

Aunque esta velocidad es difícil de medir porque en condiciones normales el nacimiento de las burbujas es repentino y se elevan en grupo, las burbujas se pueden unir o partir, mientras que en la columna se ven afectadas y limitadas por las paredes de contacto (Alfihed, 2007).

## **2.6. ESTUDIO GASODINÁMICO**

Durante la operación de un sistema fluidizado se pueden presentar varios tipos de contacto fluido-sólido que dependen de los siguientes factores: propiedades de las partículas y del lecho, naturaleza del fluido y la velocidad del mismo (Levenspiel & Kunni, 1991).

Se inició con el estudio de las propiedades de las partículas y del lecho que influyen en la fluidización.

### **2.6.1. GRANULOMETRÍA**

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas según tamaños,



Para su realización se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original (suelo o sedimento mezclado) y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una máquina especial. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma; deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices



**Gráfico 11.** Vibrador con tamices

## **2.6.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS**

Es vital obtener las propiedades de la partícula ya que esos valores ayudan a encontrar factores importantes, tanto teóricos como experimentales de un lecho fluidizado, como la velocidad mínima de fluidización ( $U_{mf}$ ). Estas propiedades son: esfericidad ( $\phi$ ), porosidad ( $\epsilon$ ), densidad ( $\rho$ ) y el área superficial ( $A$ ). (Warren, 2001).

### **2.6.2.1. Esfericidad ( $\phi$ ).**

Es un parámetro que se utiliza para determinar la forma de las partículas. Hay que considerar que no todas las partículas son esféricas, por ejemplo, granos de elote pre cocido; Incluso, la gran mayoría de las partículas que se utilizan en un lecho fluidizado son irregulares, esta es la razón por la cual se establece una definición para obtener la esfericidad, que efectivamente se basa en el área superficial de una esfera con el mismo volumen que el volumen de la partícula (Sánchez et al., 2007).

**Ecuación 2:** Esfericidad de la partícula.

$$\phi = \frac{\text{Area superficial de una esfera con el mismo volumen que el de la partícula}}{\text{Area superficial de la partícula}}$$

### 2.6.2.2. Porosidad ( $\varepsilon$ ).

La porosidad del lecho depende de la relación existente entre el diámetro de la partícula, el diámetro del lecho, la rugosidad de las paredes de la columna, la presión y la temperatura de operación (Izquierdo & Torres, 2004).

Para medir el porcentaje de poros en el lecho, se utiliza la siguiente ecuación:

**Ecuación 3:** Porosidad del lecho.

$$\varepsilon = \frac{\text{Volumen del lecho} - \text{Volumen de las partículas}}{\text{Volumen del lecho}} \quad \text{Ec 3}$$

### 2.6.2.3. Porosidad mínima de fluidización.

La porosidad mínima de fluidización está en función de la forma, tamaño de las partículas y generalmente disminuye a medida que el diámetro se incrementa y aparece cuando comienza la fluidización (Izquierdo & Torres, 2004).

### 2.6.2.4. Densidad de la partícula ( $\rho_p$ ).

La densidad de la partícula se puede determinar de la siguiente manera:

**Ecuación 4.** Densidad de la partícula.

$$\rho_p = \frac{\text{masa de la partícula}}{\text{Volumen de la partícula}} \quad \text{Ec 4}$$

Donde el volumen de la partícula incluye la porosidad. Para las partículas compactas  $\rho_p = \rho_{abs}$  (densidad absoluta) y para las partículas porosas  $\rho_p < \rho_{abs}$ . Para partículas porosas grandes, se utiliza el porosímetro de mercurio para determinar la densidad de las partículas (Sánchez et al., 2007).

### 2.6.3. CARACTERÍSTICAS DE UN LECHO FLUIDIZADO.

Anteriormente se mencionó que en un lecho fluidizado se encuentran las partículas suspendidas mediante el flujo ascendente. Por lo mismo es necesario considerar las variables y los procesos que intervienen en el comportamiento del lecho fluidizado. Los procesos son: la mezcla de las partículas sólidas entre sí, la transferencia de calor y masa, y por último el transporte de partículas.

Las variables son las siguientes: la velocidad mínima de fluidización ( $U_{mf}$ ) la porosidad ( $\epsilon$ ) el número de Reynolds ( $Re$ ) y la esfericidad ( $\phi$ ) de la partícula.

La uniformidad del lecho fluidizado depende del tamaño y de las propiedades de los sólidos.

Cuando se incrementa la velocidad del gas, la porosidad ( $\epsilon$ ) del lecho fluidizado comienza a variar. A velocidades superiores inmediatas a la velocidad mínima de fluidización, existe una expansión del lecho. Si se incrementa la velocidad a una magnitud considerablemente superior a la velocidad mínima se comienzan a producir espacios entre las partículas, que se denominan burbujas, que aumentan proporcionalmente al incremento del flujo del fluido. (Ibarrz, 2005)

En este sistema, las partículas de quinua previamente seleccionadas y limpiadas se fluidizan mediante una corriente regulada de aire, generando un lecho en el que:

- La fricción y choques continuos entre ellas permite la remoción del epispermo de alto contenido de saponinas, bajo la forma de un polvo fino
- La pérdida de nutrientes se minimiza debido a la abrasión controlada entre las partículas
- La recuperación de saponinas a través de un ciclón sería total
- Se evita la contaminación de aguas
- Todo el proceso se realiza en un solo equipo

#### **2.6.4. VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE LECHO FLUIDIZADO EN LA INDUSTRIA.**

- El lecho de partículas al adquirir las características del fluido facilita las operaciones con el sólido si se trabaja en forma continua.
- Se tiene una temperatura uniforme y controlable, la transferencia de calor y masa entre la superficie de las partículas y el fluido es muy alta.
- La pérdida de presión del flujo es baja, depende de la altura del lecho y la densidad de la partícula.
- Existe uniformidad de la mezcla debido al movimiento del sólido.
- El equipo carece de partes móviles.
- Existe la posibilidad de emplear otras fuentes de energía para el sistema (Jaramillo & Narváez 2012).

### **CAPÍTULO III**

# MATERIALES Y MÉTODOS

## 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Las pruebas preliminares para el proceso de desaponificado de quinua se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad Técnica del Norte, ubicados en la provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra, cantón Ibarra, Parroquia Azaya.

### 3.1.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.

**Tabla 3.** Información climatológica del lugar del experimento

<b>Provincia</b>	Imbabura
<b>Cantón</b>	Ibarra
<b>Parroquia</b>	El sagrario
<b>Temperatura</b>	17.4° C
<b>Altitud</b>	2250 m.s.n.m
<b>Clima</b>	Templado
<b>Latitud</b>	00 18' norte
<b>Longitud</b>	78 09' oeste
<b>Pluviosidad</b>	503-1000 m.m/año
<b>Humedad relativa promedio</b>	73%

Fuente (INAMHI, 2014)

## 3.2 MATERIALES Y EQUIPOS.

### 3.2.1 MATERIA PRIMA

- Quinua *Chenopodium quinoa* del ecotipo Chimborazo que fue adquirida en el mercado La Condamine en la ciudad de Riobamba.

#### **Equipos**

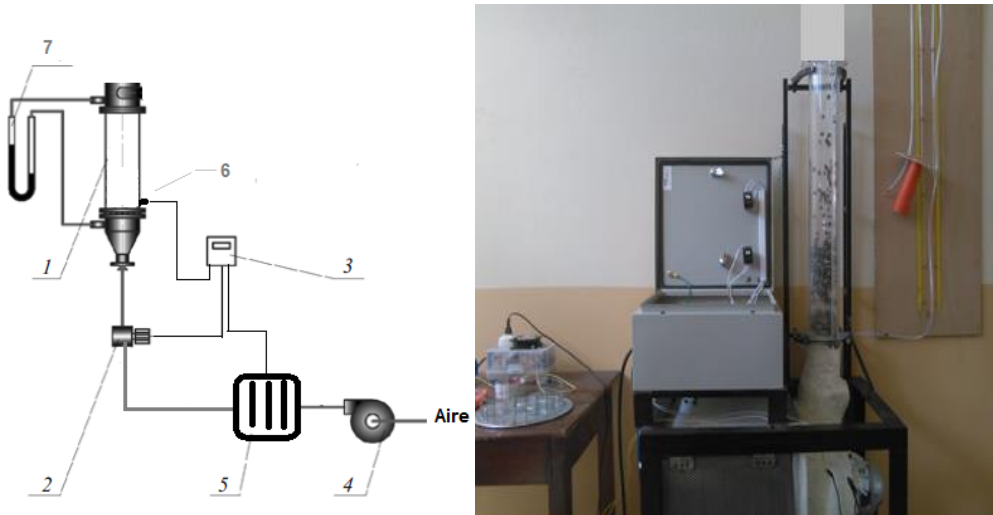
- Manómetro
- Secador de fluidización
- Ciclón
- Balanza Analítica
- Clasificadora
- Anemómetro

#### **Materiales**

- Probetas 250 ml
- Pipeta 10 ml
- Tubos de ensayo 10 ml
- Agua destilada

### 3.2.2 EQUIPOS E INSTRUMENTOS.

Según Cala (2007), inicialmente se debe construir la instalación experimental la cual tendrá dimensiones de laboratorio, altura de 50 cm y forma cilíndrica para un mejor diseño de rejilla. El esquema de la Instalación experimental se muestra a continuación:



**Grafico 12.** Esquema de la instalación experimental  
Fuente: (Cala 2007)

#### Partes del equipo de fluidización.

- 1- Reactor de columna cilíndrica de acrílico transparente
- 2- Control de pulsaciones
- 3- Unidad de captura, almacenamiento y procesamiento de datos.
- 4- Soplador generador de flujo de aire
- 5- Sistema de calentamiento
- 6- Termocupla
- 7- Manómetro diferencial con columna de agua.

#### Breve descripción de su funcionamiento

El secador funciona con un flujo de aire a temperatura controlada, de material acrílico transparente que permite la visualización del proceso de fluidización que se estudia, con dimensiones de 100 cm de altura y un diámetro de 10 cm.

El control de todos los parámetros medidos en el proceso, como son temperatura del lecho, velocidad del flujo, frecuencia del pulso para el lecho fluidizado pulsante, se realiza con la Unidad de Captura, almacenamiento y procesamiento de datos de la National Instruments NI cDAQ-9139, la cual realiza la interface con el reactor y su computador interno a través del Software LabVIEW.

### **3.3 MÉTODOS.**

Para obtener los resultados de esta investigación fue necesario realizar una serie de experimentos previos que sirvieron de ayuda para fijar los parámetros que se utilizaron para el desarrollo del diseño experimental.

El primer experimento que se realizó fue colocando únicamente la quinua en el secador y someterla al proceso de fluidización, sin obtener resultados alentadores (ver anexo 1).

A continuación, se experimentó con arena común como agente inerte externo para aumentar la fricción entre partículas (quinua-arena), con este método se logró desaponificar la quinua un cierto porcentaje, llegando a niveles entre (0,16- 0,31%). El inconveniente que presento este método fue que la arena debido al movimiento constante al que se encuentran las partículas dentro del reactor, tiende a deshacerse con facilidad y por tanto las partículas de arena perdían su poder abrasivo (ver anexo 2).

Lo que se hizo después fue reemplazar la arena común por arena sílice debido a que esta es mucho más abrasiva. Con este experimento se logró desaponificar la quinua hasta 0,14%, menor que para la arena normal en dos décimas, pero aun alto para el consumo humano (ver anexo 3).

Al final de todo este proceso los factores en estudio que se tomaron en cuenta para la investigación son los siguientes:

### 3.3.1 MÉTODOS DE EVALUACIÓN

#### 3.3.1.1 Evaluación de los factores de estudio sobre la desaponificación de la quinua.

Para cumplir con este objetivo fue necesario realizar el análisis de varianza ADEVA, para establecer que factor es más significativo; y así determinar su efecto sobre la desaponificación de la quinua.

Para llevar a cabo este proceso se determinó el contenido de saponina en las muestras de quinua desaponificada mediante el método espumoso que se establece en la norma INEN 1672 (ver anexo 5)

##### 3.3.1.1.1. Factores de estudio

Los parámetros en estudio están constituidos por la rugosidad de las paredes del reactor, y velocidad del flujo de aire y frecuencia de pulso.

**Factor A:** Rugosidad de las paredes del reactor.

Se estudió dos niveles de rugosidad para el proceso de desaponificado.

- A1:  $196 \times 10^{-6}$  m
- A2:  $523 \times 10^{-6}$  m

**Factor B:** Velocidad de flujo de aire

Se estudió dos niveles de velocidad de flujo de aire para el proceso de desaponificado.

- B1: 0,8 m/s
- B2: 1,6 m/s

**Factor C:** Frecuencia de pulso

Se estudió tres niveles de pulsaciones para el proceso de desaponificado.

- C1: 0 pul/min
- C2: 100 pul/min
- C3: 150 pul/min



**Testigo:** Desaponificado tradicional.

### 3.3.1.1.2. Tratamientos

Se evaluaron 13 tratamientos, producto de la combinación de: rugosidad de las paredes del reactor, velocidad de flujo de aire, frecuencia de pulso y como testigo el desaponificado tradicional.

Se obtuvo los siguientes tratamientos:

**Tabla 4.** Descripción de los rangos de la rugosidad de las paredes del reactor(A), velocidad de flujo de aire (B) y frecuencia de pulso (C).

Tratamiento	Nomenclatura	Descripción
T1	A1B1C1	$196 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,8\text{m/s} + 0 \text{ pul/min}$
T2	A1B1C2	$196 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,8\text{m/s} + 100\text{pul/min}$
T3	A1B1C3	$196 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,8 \text{ m/s} + 150\text{pul/min}$
T4	A1B2C1	$196 \times 10^{-6} \text{ m} + 1,6\text{m/s} + 0 \text{ pul/min}$
T5	A1B2C2	$196 \times 10^{-6} \text{ m} + 1,6 \text{ m/s} + 100\text{pul/min}$
T6	A1B2C3	$196 \times 10^{-6} \text{ m} + 1,6 \text{ m/s} + 150 \text{ pul/min}$
T7	A2B1C1	$523 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,8 \text{ m/s} + 0 \text{ pul/min}$
T8	A2B1C2	$523 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,8 \text{ m/s} + 100\text{pul/min}$
T9	A2B1C3	$523 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,8 \text{ m/s} + 150\text{pul/min}$
T10	A2B2C1	$523 \times 10^{-6} \text{ m} + 1,6 \text{ m/s} + 0 \text{ pul/min}$
T11	A2B2C2	$523 \times 10^{-6} \text{ m} + 1,6 \text{ m/s} + 100\text{pul/min}$
T12	A2B2C3	$523 \times 10^{-6} \text{ m} + 1,6 \text{ m/s} + 150\text{pul/min}$
T13	Testigo	Desaponificado tradicional

### 3.3.1.1.3. Diseño Experimental.

Se utilizó el Diseño Experimental (AxBxC) +1 con trece tratamientos y tres repeticiones, donde A, representa la rugosidad de las paredes del reactor, B la velocidad de flujo de aire, C la frecuencia de pulso y como testigo se tomará como referencia el método tradicional de desaponificado de Quinua.

### 3.3.1.1.4. Características del Experimento

Cada unidad experimental tuvo un peso de 150g de quinua.

**Tabla 5.** Características del experimento

Tratamientos	13
Repeticiones	3
Unidades experimentales	39

### 3.3.1.1.5. Análisis de Varianza

La tabla 7 muestra el esquema del análisis de la varianza.

**Tabla 6.** Análisis de Varianza.

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	38
Tratamientos	12
Factor A	1
Factor B	1
Factor C	2
A x B	1
B x C	2
A x C	2
A x B x C	2
Testigo vs Resto	1
Error Experimental	26

El Análisis funcional se determina con:

- Coeficiente de variación (C.V).
- Para la diferencia estadística entre tratamientos se realizó la prueba de Tukey al 5%.
- Diferencia mínima significativa (DMS) para factores.

### 3.3.1.2 Determinación del contenido de proteína para los mejores tratamientos y la materia prima.

Esta variable se evaluó mediante la utilización del método señalado en la norma INEN 1670 (ver anexo 6).

El contenido de proteína total en porcentaje se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

**Ecuación 5:** Porcentaje de Proteína.

$$PT = \frac{1,4 * 6,25(V * N V' * N')}{m}$$

Dónde:

PT = contenido de proteína total

V = volumen, en cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico introducido en el vaso

N = normalidad de la solución de ácido sulfúrico

V' = volumen, en cm<sup>3</sup> de NaOH consumido en la valoración

N' = normalidad de la solución de NaOH.

m = masa de la muestra, en gramos

### **3.3.1.3. Determinación de la eficiencia del proceso de desaponificado mediante lecho fluidizado pulsante del método tradicional.**

Este procedimiento se lo llevó a cabo mediante cálculos para determinar qué tan eficiente resultó ser el método de desaponificado mediante lecho fluidizado pulsante y compararlo con el desaponificado por el método tradicional.

**Ecuación 6:** Eficiencia del método de desaponificado

$$Eficiencia = \left(1 - \frac{\% Saponina\ final}{\% Saponina\ inicial}\right) * 100\% \quad Ec\ 6$$

### **3.3.1.4. Evaluación sensorial de la quinua desaponificada en los mejores tratamientos.**

Para realizar la evaluación sensorial del producto elaborado se aplicó el método de panel degustador, mismo que se procedió a desarrollarlo en dos etapas:

- Se elaboró el instrumento de recopilación de información que emitirán los panelistas que intervinieron en este análisis.
- Aplicación del instrumento a los panelistas. Al momento de aplicarlo previamente se procedió a socializar el instrumento (matrices) donde constan los diferentes atributos de la evaluación sensorial. Además, recibieron indicaciones descritas en el instrumento.

### **Instrucciones**

Le pedimos para la calificación del producto, tomarse el tiempo prudencial necesario analizando detenidamente cada una de las características que se detallan en el siguiente instructivo.

#### 3.3.1.4.1. Color

La quinua en grano debe presentar un color natural y uniforme, característico de la variedad. Según norma INEN 1673 (ver anexo 7)

*Técnica:* se entregó el producto elaborado para que sea observado de acuerdo al criterio panelista.

**Tabla 7.** Rangos de color

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS		
	T1	T2	T3
Excelente (5)			
Muy Bueno (4)			
Bueno (3)			
Regular (2)			
Malo (1)			

Los valores que se usaron para calificar son los siguientes:

En un rango de 1 a 5 se calificó la percepción del color desde el menos aceptable hasta la más aceptable asignando el número correspondiente para cada tratamiento analizado, siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta.

#### 3.3.1.4.2. Olor.

La quinua en grano, en un examen organoléptico, debe estar libre de olores producidos por contaminación de mohos o por una mala conservación u otros olores objetables. Según norma INEN 1673 (ver anexo7)

*Técnica:* se entregó el producto elaborado para que sea percibido agradable o desagradable de acuerdo al criterio panelista.

**Tabla 8.** Rangos de olor

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS		
	T1	T2	T3
Muy agradable (5)			
Agradable (4)			
Poco Agradable (3)			
Regular (2)			
Desagradable (1)			

Los valores que se usaron para calificar son los siguientes:

En un rango de 1 a 5 se calificó la percepción del olor desde el menos aceptable hasta la más aceptable asignando el número correspondiente para cada tratamiento analizado, siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta.

#### 3.3.1.4.3. Sabor.

El sentido del gusto hace referencia a los sabores en los alimentos. Este atributo hace referencia a la combinación de tres propiedades: olor, aroma y gusto. Se debe tener en cuenta que la lengua del panelista este en perfectas condiciones sino además que no tenga problemas con la nariz y con la garganta (Hernandez, 2005).

**Tabla 9.** Rangos de Sabor

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS		
	T1	T2	T3
Muy agradable (5)			
Agradable (4)			
Poco Agradable (3)			
Regular (2)			
Desagradable (2)			

Los valores que se usaron para calificar son los siguientes:

En un rango de 1 a 5 se calificó la percepción del sabor desde el menos aceptable hasta la más aceptable asignando el número correspondiente para cada tratamiento analizado, siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta.

### 3.3.2. VARIABLES EVALUADAS

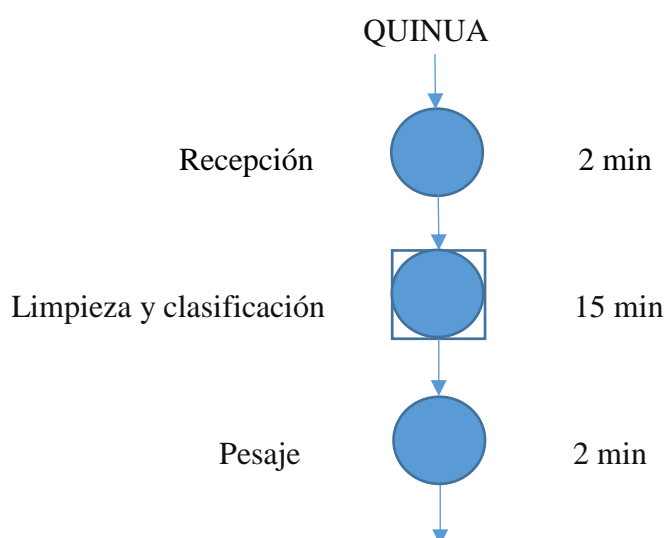
En la tabla 11 se muestra todas las variables determinadas en la investigación.

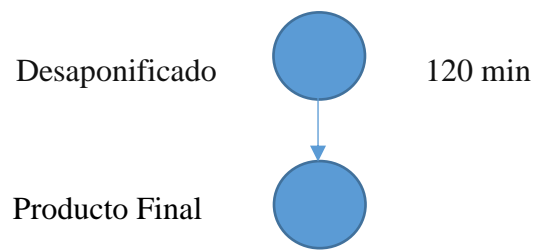
**Tabla 10.** Variables evaluadas en la experimentación.

Variable	Unidad	Método de ensayo	Frecuencia y aplicación
<b>VARIABLES CUANTITATIVAS</b>			
Contenido de saponina	%	Método espumoso NORMA INEN 1672	Materia prima por triplicado
Proteína)	%	AOAC 2001.11	Materia prima y mejores tratamientos.
Eficiencia del proceso de desaponificado	%	Cálculo	Desaponificado Tradicional y mediante proceso de lecho fluidizado pulsante
<b>VARIABLES CUALITATIVAS</b>			
Análisis sensorial	-	Método panel degustador	Materia prima y mejores tratamientos

### 3.3.4 MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

#### 3.3.4.1. Diagrama de proceso.





**Grafico 13.** Diagrama de proceso de desaponificado de quinua mediante lecho fluidizado pulsante

### 3.3.5 DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DEL PROCESO

#### 3.3.5.1 Recepción de la materia prima.

La quinua (ecotipo Chimborazo) que es la materia prima para el desarrollo de este experimento fue adquirida en el mercado La Condamine en la ciudad de Riobamba. Observando que esta se encuentre en condiciones físicas óptimas para llevar a cabo el experimento.



**Fotografía 1.** Adquisición de la materia prima.

#### 3.3.5.2 Limpieza y Clasificación.

Esta operación se realizó con el fin de eliminar cualquier tipo de materiales extraños como material vegetativo, residuos de suelo, piedras, plásticos entre otros que puedan interferir en el proceso de desaponificado.



**Fotografía 2.** Vibrador con tamices

### **3.3.5.3 Pesaje.**

Una vez limpia la quinua se procedió a pesar la cantidad necesaria (150g) de quinua mediante una balanza analítica para cada unidad experimental que se utilizó en el proceso de desaponificado.



**Fotografía 3.** Proceso de pesaje

### **3.3.5.4 Desaponificado.**

Luego de haber pesado la muestra se procedió a colocar la quinua en el reactor de lecho fluidizado. En esta operación se utilizó una corriente ascendente de aire para suspender las partículas de quinua formando un lecho. La fricción y choques continuos entre ellas permiten la remoción del epispermo de alto contenido de saponinas, bajo la forma de un polvo fino





**Fotografía 4.** Secador de Lecho fluidizado pulsante

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

En el presente trabajo de investigación “Desaponificado de quinua *Chenopodium quinoa* del ecotipo Chimborazo mediante lecho fluidizado pulsante”, se da a conocer los resultados siguientes:

## 4.1 VARIABLES CUANTITATIVAS EN EL PROCESO DE DESAPONIFICADO DE QUINUA.

### 4.1.1 EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE ESTUDIO SOBRE LA DESAPONIFICACIÓN DE LA QUINUA.

Los parámetros de estudio están constituidos por la rugosidad de las paredes del reactor, y velocidad del flujo de aire y frecuencia de pulso.

**Tabla 11.** Contenido de saponina expresado en porcentaje (%)

Tratamientos	Repeticiones			$\Sigma$	X	
	I	II	III			
T1	A1B1C1	0,40	0,39	0,39	<b>1,18</b>	<b>0,39</b>
T2	A1B1C2	0,42	0,44	0,42	<b>1,28</b>	<b>0,43</b>
T3	A1B1C3	0,39	0,35	0,39	<b>1,13</b>	<b>0,38</b>
T4	A1B2C1	0,10	0,08	0,09	<b>0,27</b>	<b>0,09</b>
T5	A1B2C2	0,12	0,16	0,16	<b>0,44</b>	<b>0,15</b>
T6	A1B2C3	0,09	0,10	0,10	<b>0,29</b>	<b>0,10</b>
T7	A2B1C1	0,38	0,39	0,38	<b>1,15</b>	<b>0,38</b>
T8	A2B1C2	0,44	0,40	0,39	<b>1,23</b>	<b>0,41</b>
T9	A2B1C3	0,39	0,45	0,40	<b>1,24</b>	<b>0,41</b>
T10	A2B2C1	0,33	0,33	0,35	<b>1,01</b>	<b>0,34</b>
T11	A2B2C2	0,35	0,37	0,39	<b>1,11</b>	<b>0,37</b>
T12	A2B2C3	0,39	0,35	0,37	<b>1,11</b>	<b>0,37</b>
T13	TESTIGO	0,06	0,04	0,03	<b>0,13</b>	<b>0,04</b>
	$\Sigma$	<b>3,82</b>	<b>3,87</b>	<b>3,88</b>	<b>11,57</b>	<b>3,86</b>

La quinua contiene saponinas, las que se caracterizan por ser amargas, emulsificantes y espumantes. Según Zabaleta (2010), el nivel máximo aceptable de saponina en la quinua para consumo humano oscila entre 0.06 y 0.12%. Esto concuerda con los resultados de pruebas sensoriales realizadas en la Universidad de Ambato, Ecuador, en donde determinó que el límite máximo de aceptación del contenido de saponina en el grano cocido, fue de 0.1%

El valor más bajo de contenido de saponina que se obtuvo en las muestras de quinua de este experimento fue de 0.09 %, (sin tomar en cuenta el valor del testigo), concluyendo así que el método de desaponificado mediante lecho fluidizado pulsante alcanza dichos niveles que se requieren para el consumo humano.

**Tabla 12.** Análisis de varianza contenido de saponina de quinua *Chenopodium quinoa*

<b>F de V</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F.cal</b>	<b>F. Tab 5%</b>	<b>F. Tab 1%</b>
	0,75	38				
<b>Total</b>						
<b>Trat.</b>	0,75	12	0,06	188,15 **	2,09	2,84
<b>FA</b>	0,14	1	0,14	429,94 **	4,17	7,56
<b>FB</b>	0,25	1	0,25	747,52 **	4,17	7,56
<b>FC</b>	0,009	2	0,004	13,15 **	3,32	5,39
<b>IAB</b>	0,13	1	0,13	403,03 **	4,17	7,56
<b>IAC</b>	0,004	2	0,002	5,76 **	3,32	5,39
<b>IBC</b>	0,001	2	0,0004	1,15 ns	3,32	5,39
<b>IABC</b>	0,002	2	0,001	2,61 ns	3,32	5,39
<b>Tgo vs R</b>	0,21	1	0,21	**	4,17	7,56
<b>E.Exp</b>	0,01	26	0,0003			

Coefficiente de Variación

CV: 6,12 %

\*\* : Altamente significativo

ns: No Significativo

En la tabla 13, el análisis de varianza de la variable contenido de saponina de la quinua *Chenopodium quinoa* determina alta significación estadística para tratamientos, y factores A (Rugosidad de las paredes del reactor), B (velocidad de flujo de aire) y C (frecuencia de pulso); lo que quiere decir que estos factores actúan de forma diferente en la desaponificación de los granos de quinua. De igual forma se observó que existe significación para las interacciones AxB y AxC. Por lo tanto, se realizó las pruebas correspondientes de Tukey al 5% para tratamientos, Diferencia mínima significativa para factores, y la gráfica de la interacción (BxC).

**Tabla 13.** Prueba de Tukey para tratamientos de la variable contenido de saponina de la quinua *Chenopodium quinoa*

N°	TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T2	A1B1C2	0,43	a
T8	A2B1C2	0,41	b
T9	A2B1C3	0,41	b
T1	A1B1C1	0,39	c
T3	A1B1C3	0,38	d
T7	A2B1C1	0,38	d
T11	A2B2C2	0,37	e
T12	A2B2C3	0,37	e
T10	A2B2C1	0,34	f
T5	A1B2C2	0,15	g
T6	A1B2C3	0,10	h
T4	A1B2C1	0,09	h
T13	TESTIGO	0,04	i

Realizada la prueba de Tukey se puede observar que existen nueve rangos diferentes “a”, “b”, “c”, “d”, “e” y “f”, “g”, “h”, “i”; para la variable contenido de saponina, con un

comportamiento diferente; de los cuales el testigo correspondiente al rango i es el que presentan la mejor media, ya que las muestras de quinua presentan menor porcentaje de saponina.

**Tabla 14.** Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor A

Tratamientos	Medias	DMS
A2	0,38	a
A1	0,26	b

Según los resultados de la tabla 15, se establece dos rangos: “a” y “b”, para el factor A (rugosidad de las paredes del reactor) en función de la variable contenido de saponina. La rugosidad de las paredes del reactor más apropiada para la desaponificación de la quinua es A1 (Rugosidad de las paredes:  $196 \times 10^{-6}$  m) con una media de 0.26 %, ya que permite eliminar mayor cantidad de saponina.

**Tabla 15.** Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor B

Tratamientos	Medias	DMS
B1	0,40	a
B2	0,24	b

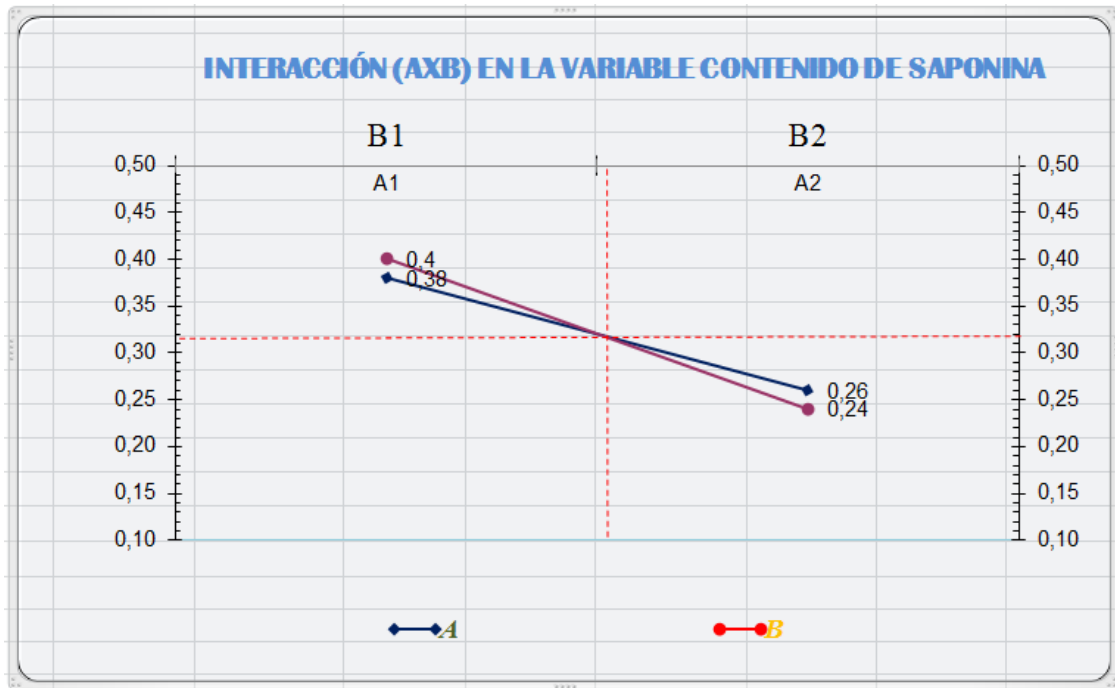
Según los resultados de la tabla 16, se establece dos rangos: “a” y “b”, para el factor B (Velocidad de flujo de aire) en función de la variable contenido de saponina. La velocidad de flujo de aire más apropiada para la desaponificación de la quinua es B2 (Velocidad de flujo de aire: 1,6 m/s) con una media de 0,24 %, ya que permite eliminar mayor cantidad de saponina.

**Tabla 16.** Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor C

Tratamientos	Medias	DMS
C2	0,34	a
C3	0,31	b
C1	0,30	b

Según los resultados de la tabla 17, se establecen tres rangos: “a”, “b” y “c”, para el factor C (frecuencia de pulso) en función de la variable contenido de saponina. La frecuencia de pulso más apropiada para la desaponificación de la quinua es C1 (frecuencia de pulso: 0 pul/min) con una media de 0,30%, ya que permite eliminar mayor cantidad de saponina.

**Grafico 14.** Interacción de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y B (Velocidad de flujo de aire) en la variable contenido de saponina de la quinua.

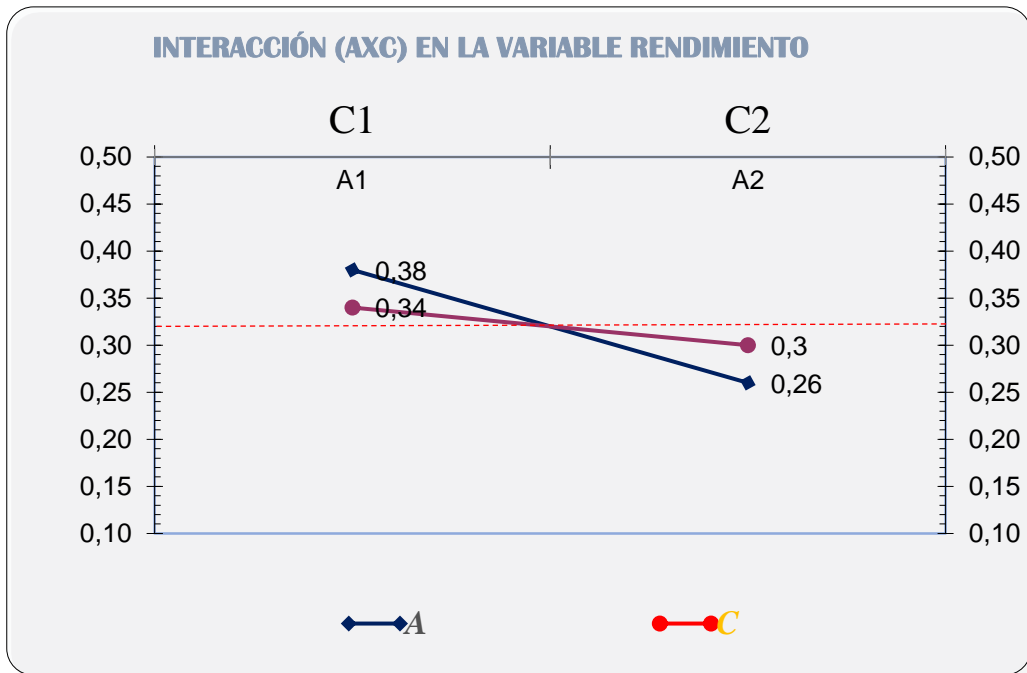


En el gráfico 14 el punto crítico en la interacción de los factores A y B contenido de saponina. La interacción de estos factores da como resultado de 0,32%.

Esta interacción revela que la combinación de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y B (velocidad de flujo de aire), influyen en la desaponificación de la quinua. La interacción nos muestra que es necesario que exista menor rugosidad en las paredes del reactor ( $196 \times 10^{-6}$  m) para obtener niveles de saponina más bajos.

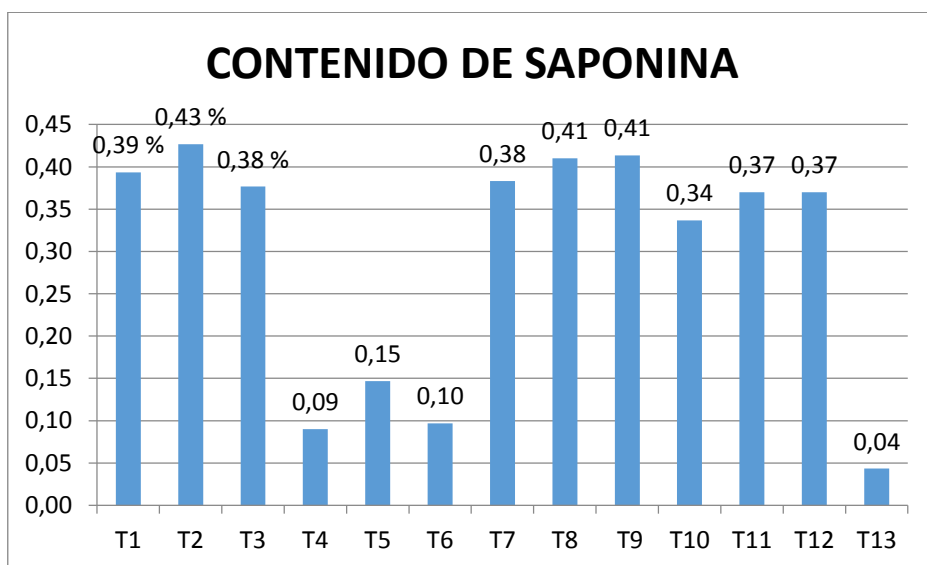
De igual manera indica que la velocidad de flujo de aire debe ser mayor o superior a 1,6 m/s para obtener valores significativos en contenido de saponina que muestran menor porcentaje de saponina en los granos de quinua.

**Grafico 15.** Interacción de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y C (Frecuencia de pulso) en la variable contenido de saponina de la quinua.



En el gráfico 15 se puede apreciar el punto crítico en la interacción de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y C (frecuencia de pulso). La interacción de estos factores dio como resultado 0,32%. Esta gráfica revela que la combinación de los factores rugosidad de las paredes del reactor y frecuencia de pulso, influyen en la desaponificación de la quinua mediante lecho fluidizado pelsante.

**Gráfico 16.** Contenido de saponina en las muestras de quinua desaponificada.



En el gráfico 16 se puede observar que el mejor tratamiento es: T13 correspondiente al testigo, por mostrar la media más baja para la variable evaluada (contenido de saponina), lo que significa que su comportamiento es diferente en relación a los otros tratamientos debido a que el nivel de saponina obtenido en la muestra es el más bajo (0.04%).

Los resultados obtenidos en otras investigaciones como ejemplo se puede citar a Ledezma (2010), donde describe que las muestras procesadas mediante el método de lecho fluidizado en un reactor tipo surtidor, en las mejores condiciones de operación (Diámetro Lecho = 7,5 cm, Diámetro Boquilla = 1,4 mm, Altura Lecho = 12,5 y 7,5 cm); muestran niveles de saponina por debajo del 0,12%, en tan solo 20 minutos de operación.

El método de desaponificado en seco por medio del lecho fluidizado aún no alcanza resultados óptimos, pero si abre un camino esperanzador para la disminución del consumo de agua y la contaminación ambiental producida por el método tradicional.

#### **4.1.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA PARA LOS MEJORES TRATAMIENTOS Y LA MATERIA PRIMA.**

Uno de los aspectos más importantes es la cantidad y calidad de la proteína que contiene la quinua para lo cual, una vez concluido el proceso de desaponificado se procedió a determinar la cantidad de proteína que contenían las muestras de quinua en los mejores tratamientos (ver anexo 7).

Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 17.** Contenido de proteína en los mejores tratamientos

<b>Parámetro analizado</b>	<b>Proteína</b>
Unidad	%
Método de Ensayo	AOAC 2001.11
Muestra Inicial	12,61
T4 ( $196 \times 10^{-6}$ + 1,6 m/s + 100pul/min)	12,23
T6 ( $196 \times 10^{-6}$ + 1,6 m/s + 150pul/min)	12,21
Desaponificado tradicional	12,21

Se puede observar que el proceso de desaponificado de quinua mediante lecho fluidizado pulsante no provocó cambios en cuanto al contenido de proteína en las muestras de quinua



sometidas a diferentes condiciones de operación, debido a la abrasión controlada de las partículas.

#### **4.1.3. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE DESAPONIFICADO MEDIANTE LECHO FLUIDIZADO PULSANTE Y DEL MÉTODO TRADICIONAL.**

Desaponificado mediante lecho fluidizado pulsante:

$$Eficiencia = \left(1 - \frac{\% Saponina\ final}{\% Saponina\ inicial}\right) * 100\%$$

$$Eficiencia = \left(1 - \frac{0,09\%}{0,45\%}\right) * 100\%$$

$$Eficiencia = 80\%$$

Desaponificado mediante el método tradicional:

$$Eficiencia = \left(1 - \frac{\% Saponina\ final}{\% Saponina\ inicial}\right) * 100\%$$

$$Eficiencia = \left(1 - \frac{0,04\%}{0,45\%}\right) * 100\%$$

$$Eficiencia = 91,1\%$$

El método húmedo para la desaponificación del grano consiste en someter los granos a un proceso de lavado y turbulencia, en agua circulante o fija en el recipiente de lavado; la saponina se elimina en el agua de lavado, posteriormente se somete el grano a un proceso de secado, obteniéndose porcentajes de saponinas menores a 0.06%, lo que significa que la eficiencia del método es de aproximadamente 91%; sin embargo, se corre el riesgo de que las semillas germinen, lo que afectará la calidad nutricional de la quinua (Delatorre et al., 2013).

El método de desaponificado de quinua mediante lecho fluidizado pulsante alcanza una eficiencia del 80%, que es menor comparada con el método húmedo de desaponificado; sin embargo presenta algunas ventajas sobre este método ya que se consigue reducir el consumo de agua y por lo tanto, la contaminación ambiental.

#### 4.1.4. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA QUINUA DESAPONIFICADA EN LOS MEJORES TRATAMIENTOS.

Las variables cualitativas analizadas fueron color, olor, sabor. El análisis sensorial se realizó a un panel de 15 degustadores, conformado por 13 estudiantes de la Universidad Técnica del Norte y 2 ingenieros pertenecientes al área de post-cosecha de quinua del Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP).

Para la evaluación de los datos registrados, se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman, donde:

**Ecuación 7:** Prueba no paramétrica de Friedman

$$x^2 = \frac{12}{rxt(t+1)} \sum R^2 - 3r(t+1) \quad \text{Ec 7}$$

Dónde:

r = Numero de degustadores.

t = Tratamientos.

$\Sigma R^2$  = Sumatoria de rangos al cuadrado.

Para Anzaldúa Morales(1991), “este método se llama método de comparaciones múltiples y resulta muy útil para evaluar el efecto de variaciones en una formulación, la sustitución de un ingrediente, material de empaque, las condiciones de proceso, entre otros” (p 11-27).

##### 4.1.4.1. Olor

La quinua en grano, en un examen organoléptico, debe estar libre de olores producidos por contaminación de mohos o por la mala conservación u otros olores objetables. NORMA INEN 1673.

**Tabla 18.** Prueba de Friedman para la variable Olor

Trat.	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	Sumatoria	Media
<b>T4</b>	1,5	1	3	2	1,5	1	1,5	1	3	3	2,5	2,5	1	1,5	2,5	28,5	1,9
<b>T6</b>	3	2,5	1,5	1	1,5	2	3	2	1	1	2,5	1	2,5	3	1	28,5	1,9

<b>T13</b>	1,5	2,5	1,5	3	3	3	1,5	3	2	2	1	2,5	2,5	1,5	2,5	33	2,2
------------	-----	-----	-----	---	---	---	-----	---	---	---	---	-----	-----	-----	-----	----	-----

No existe alta significación estadística para esta variable. En la tabla 19 se puede apreciar que T13 (Testigo: desaponificado tradicional de quinua) tiene la media más alta con un valor de 2,2, seguido por T4 y T6 con una media de 1,9.

**Tabla 19.** Resultado del cálculo en la variable olor

Variables cualitativas	X <sup>2</sup> Cal	X <sup>2</sup> Tab	
		5%	1%
Olor	0,9 ns	5,99	9,21

Según los resultados del cálculo en la variable olor, los catadores no encontraron diferencia significativa entre los tratamientos, todos muestran el mismo olor característico de la quinua.

#### 4.1.4.2. Color.

La quinua en grano debe presentar un color natural y uniforme, característico de la variedad.  
NORMA INEN 1673

Las semillas de quinua que se utilizó en este experimento (ecotipo Chimborazo), son semillas pequeñas blancas y coloreadas.

**Tabla 20.** Prueba de Friedman para la variable color

Trat.	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	Sumatoria	Media
<b>T4</b>	3	3	2,5	3	2,5	2	2	1	3	2,5	3	3	1	2	2,5	36	2,4
<b>T6</b>	1,5	2	1	2	1	1	3	2,5	1	1	1,5	2	2,5	3	1	26	1,7
<b>T13</b>	1,5	1	2,5	1	2,5	3	1	2,5	2	2,5	1,5	1	2,5	1	2,5	28	1,9

En la tabla 21 se puede apreciar que el tratamiento cuatro (T4) tiene la media más alta con un valor de 2,4, la segunda media más alta corresponde al tratamiento trece (T13) con un valor de 1,9. Para esta variable no existe significación estadística.

**Tabla 21.** Resultado del cálculo para la variable color

Variables cualitativas	X <sup>2</sup> Cal	X <sup>2</sup> Tab	
		5%	1%
Color	3,73 ns	5,99	9,21

Según los resultados del análisis sensorial para la variable color, los catadores no encontraron diferencia significativa en los distintos tratamientos.

#### 4.1.4.3. Sabor

Para (Hernandez 2005), el sentido del gusto hace referencia a los sabores en los alimentos. Este atributo combina tres propiedades: olor, aroma y gusto.

**Tabla 22.** Prueba de Friedman para la variable sabor

Trat.	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	Sumatoria	Media
<b>T4</b>	1	1,5	1,5	1,5	2	1,5	1	1,5	1	1	1	1	1,5	1	1,5	19,5	1,3
<b>T6</b>	2	1,5	1,5	1,5	1	1,5	2	1,5	2,5	2,5	2,5	2	1,5	2	1,5	27	1,8
<b>T13</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	2,5	2,5	2,5	3	3	3	3	43,5	2,9

En la tabla 23 se puede apreciar que el tratamiento trece (T13) tiene la media más alta con un valor de 2,9, esto nos indica que fue la más aceptada por los degustadores, la segunda media más alta corresponde al tratamiento seis (T6) con un valor de 1,8. Para esta variable si existe significación estadística.

**Tabla 23.** Resultado del cálculo para la variable sabor

Variables cualitativas	X <sup>2</sup> Cal	X <sup>2</sup> Tab	
		5%	1%
Sabor	20,10 **	5,99	9,21

Según los resultados de análisis sensorial para la variable sabor, los catadores mostraron preferencia por el tratamiento que fue desaponificado por el método tradicional (T13), debido a que la saponina de la quinua que es la que le confiere un sabor amargo desagradable; fue eliminada casi por completo.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos se establecen las siguientes conclusiones.

- La velocidad de flujo de aire influye directamente en el proceso de desaponificado de quinua ya que, al existir mayor velocidad, mediante fricción y choques continuos entre ellas permiten la remoción del epispermo de alto contenido de saponinas, bajo la forma de un polvo fino
- Se evaluó el contenido de proteína de las muestras de quinua de la materia prima inicial y en los mejores tratamientos, demostrando que la pérdida de nutrientes se minimiza debido a la abrasión controlada entre las partículas
- Luego de realizar el experimento se puede concluir que el desaponificado de quinua mediante lecho fluidizado pulsante permite disminuir las saponinas hasta un 0,09 %, que luego de un simple enjuague permite alcanzar el nivel requerido para el consumo humano de 0,06%.
- El método de desaponificado en seco por medio del lecho fluidizado aún no alcanza resultados óptimos, pero si abre un camino esperanzador para la disminución del consumo de agua y la contaminación ambiental producida por el método tradicional.
- Al realizar el análisis organoléptico a un grupo de panelistas se determinó que no existe cambio aparente en cuanto al color y olor en la quinua. No sucede así en el caso del sabor, para esta variable los panelistas consideraron que las muestras de quinua desaponificadas mediante lecho fluidizado pulsante; aún conservan un sabor amargo ligero, que puede ser eliminado mediante un breve enjuague.
- Los granos de quinua desaponificados no mostraron signos visibles de daños en la superficie a nivel visual.

## **5.2 RECOMENDACIONES.**

- Trabajar con velocidad de flujo de aire mayores o iguales a 1,6 m/s para esta variedad de quinua para que exista mayor interacción entre los granos ya que la velocidad límite de arrastre es de 6 m/s.
- Es recomendable tamizar la quinua antes de someterla al proceso de desaponificado para separar cualquier tipo de material extraño como: piedras, cascarilla, plástico que interfieran en el desarrollo normal del experimento.
- Se recomienda realizar un previo enjuague a la quinua que ha sido desaponificada mediante este método para ser utilizada en cualquier tipo de receta y poder ser ingerida.
- Profundizar en el estudio de la interacción entre los granos de quinua y diferentes superficies rugosas con el objetivo de disminuir el tiempo de desaponificado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Alberto, C., Pereira, P., González, O., Isabel, A., Hernández, M., & Valencia, M. (2014). Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow): composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2), 166-218.

- Aldaco, R., Irabien, A., & Luis, P. (2005). Fluidized bed reactor for fluoride removal. *Chemical Engineering Journal*, 107(1), 113-117.
- Alfihed, S. (2007). *Chemical Engineering. Fluidized Bed*.
- Analisis Sectorial Quinoa 2015. (2015). Ecuador.
- Anzaldúa Morales, A. (1991). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. In *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. (pp. 11-27). Zaragoza: Acribia.
- Armada, M., Chavarría, J. A., & Trejo, A. V. Diseño y Construcción de un Prototipo Escarificador de Quinoa.
- BAZILE, D. (2014). Estado del arte de la quinoa en el mundo en 2013.
- Cala, R. (2007). Secado de arroz en un reactor de lecho fluidizado pulsante.
- Castillo, T., Nieto, C., & Gandarillas, S. (1989). Razas de quinoa en Ecuador.
- Corzo Barragán, D. C. (2011). Análisis y selección de diferentes métodos para eliminar las saponinas en dos variedades de *Chenopodium quinoa* Willd.
- Delatorre-Herrera, J., Sánchez, M., Delfino, I., & Oliva, M. (2013). La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), un tesoro andino para el mundo. *Idesia (Arica)*, 31(2), 111-114.
- Estrategia Fomento a la Producción de la Quinoa en la Sierra Ecuatoriana. (2015). Retrieved from Ecuador:
- Fontal, L., & Mauricio, E. (2006). Secado de café en lecho fluidizado. *Ingeniería e Investigación; Vol. 26, núm. 1 (2006); 22-26 Ingeniería e Investigación; Vol. 26, núm. 1 (2006); 22-26 2248-8723 0120-5609*.



- Gianna, V. (2013). Extracción, cuantificación y purificación de saponinas de semilla de *Chenopodium quinoa* Willd provenientes del noroeste argentino.
- Guzmán, B., Tenorio, R., Cruz, D. L., Espinal, C., Alvarado, J. A., & Mollinedo, P. (2015). Saponins from *Chenopodium Quinoa* Willd and *Chenopodium Pallidicaule* Aellen as biocontrollers of phytopathogen fungi and hemolysis agents. *Revista Boliviana de Química*, 32(1), 8-14.
- Haro Bazán, G. C., Chóez, S., & Cecibel, F. (2015). Diseño de una línea de producción de leche de quinua.
- Hernandez, E. (2005). Evaluación sensorial. Bogota: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Ibarz, A., & Ribas, A. I. (2005). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos: Mundi-Prensa Libros.
- Izquierdo, J. F., & Torres, J. F. I. (2004). Cinética de las reacciones químicas (Vol. 16): Edicions Universitat Barcelona.
- Ledezma, C. Q., & Vásquez, R. E. (2010). Evaluación de la calidad nutricional y morfología del grano de variedades amargas de quinua beneficiadas en seco, mediante el novedoso empleo de un reactor de lecho fluidizado de tipo surtidor. *Investigación & Desarrollo*, 10, 23-36.
- Lozano, M., Ticona, E., Carrasco, C., Flores, Y., & Almanza, G. R. (2012). Cuantificación de Saponinas en Residuos de Quinoa Real *Chenopodium Quinoa* Willd. *Revista Boliviana de Química*, 29(2), 131-138.
- López, M. L., Capparelli, A., & Nielsen, A. E. (2012). Procesamiento post-cosecha de granos de Quinoa (*Chenopodium quinoa*, *Chenopodiaceae*) en el período prehispánico tardío en el norte de Lípez: Potosí, Bolivia. *Darwiniana, nueva serie*, 50(2), 187-206.

- Mazón, O., & Peralta, I. (2014). Estado del Arte de la Quinoa en le Mundo en 2013.
- Mikhalev. (2010). *Predicting of minimum fluidization velocity of a binary density system using ressure fluctuation in a fluidized bed. Advances in Control.*
- Nascimento, A. C., Mota, C., Coelho, I., Gueifão, S., Santos, M., Matos, A. S., . . . Castanheira, I. (2014). Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays L.*) consumed in the North of Argentina: Proximates, minerals and trace elements. *Food chemistry*, *148*, 420-426.
- Nieto, C., & Vimos, C. (1992). *La Quinoa, Cosecha Y Poscosecha Algunas Experiencias En Ecuador*: INIAP Archivo Historico.
- Reyes Salinas, A. (2010). *Escurrimiento de fluidos: aplicaciones*. Chile: Editorial de la Universidad de Santiago de Chile.
- Rojas, W., Soto, J. L., Pinto, M., Jäger, M., & Padulosi, S. (2010). Granos Andinos Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinoa, cañahua y amaranto en Bolivia. *Bioversity International, Roma, Italia.*
- Sanchez, F. (2013). Proyecto de Factibilidad de Inversión Privada para la Instalacion de un semillero de Quinoa. Retrieved from Lima-Perú:
- Sánchez-Ramírez, J., Anaya-Sosa, I., Vizcarra-Mendoza, M., Gutiérrez-López, G., & Santiago-Pineda, T. (2007). [www. redalyc. org](http://www.redalyc.org). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *6*(2), 185-192.
- Telis-Romero, J., & Sobral, P. J. d. A. (2003). Caída de presión en lecho fijo de cubos de papa, remolacha y zanahoria considerando encogimiento. *Food Science and Technology (Campinas)*, *23*, 110-115.
- Villacrés, E., Peralta, E., Egas, L., & Mazón, N. (2011). Potencial agroindustrial de la quinoa. *Boletín técnico*(146).

Warren. (2001). Operaciones Basicas de Ingenieria Quimica. Barcelona: Reverte.

Zavaleta Mercado, R. (2010). Diseño conceptual para la descontaminación y economía de agua en plantas de desamargado de quinua. *Revista Ciencia y Cultura*(24), 85-96.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Desaponificado de quinua con rugosidad cero.

Este experimento se lo realizó utilizando quinua ecotipo Chimborazo, partiendo con un contenido de saponina de 0,45%.

Para realizar este proceso se procedió a colocar 150 g de quinua en el reactor, la cual fue sometida al proceso de fluidización. Para este proceso se trabajó con la velocidad máxima de fluidización que corresponde a 1,6 m/s, durante 2 horas. Una vez transcurrido este tiempo se determinó el contenido de saponina de la muestra de quinua mediante el método espumoso que está establecido por la norma INEN 1672. Al obtener el resultado de este análisis se

concluyó que este proceso no fue efectivo debido a que la saponina presente en la quinua no pudo ser removida.

**Anexo 2.** Desaponificado de quinua utilizando un material inerte (arena común).

Como segunda posibilidad para desaponificar la quinua se consideró utilizar arena como agente inerte externo para que permitiera aumentar la fricción entre los granos de quinua y la arena.

Para este proceso se procedió a tamizar la arena para separar las partículas de arena de acuerdo a su diámetro. En este experimento se hizo una relación de peso entre la quinua y la arena. La primera relación fue: 50g de quinua y 50g de arena y la segunda: 50g de quinua y 100g de arena. Para realizar este experimento se tomó en cuenta los siguientes factores:

**Factor A:** Diámetro de la partícula de arena

- A1: 1,00 mm
- A2: 1,16 mm

**Factor B:** Relación quinua/arena

- B1: 50 g quinua; 50 g arena
- B2: 50 g quinua; 100 g arena

**Factor C:** Velocidad de flujo de aire

- C1: 0,8 m/s
- C2: 1,6 m/s

**Tabla 24.** Contenido de saponina expresado en porcentaje (%)

Tratamientos		Repeticiones			$\Sigma$	X
		I	II	III		
T1	A1B1C1	0,37	0,35	0,33	1,05	0,35
T2	A1B1C2	0,19	0,17	0,17	0,53	0,18
T3	A1B2C1	0,42	0,35	0,39	1,16	0,39
T4	A1B2C2	0,33	0,30	0,35	0,98	0,33
T5	A2B1C1	0,42	0,39	0,42	1,23	0,41
T6	A2B1C2	0,17	0,15	0,15	0,47	0,16
T7	A2B2C1	0,40	0,39	0,35	1,14	0,38
T8	A2B2C2	0,33	0,35	0,30	0,98	0,33

$\Sigma$	2,63	2,45	2,46	6,68	2,53
----------	------	------	------	------	------

La quinua contiene saponinas, las que se caracterizan por ser amargas, emulsificantes y espumantes. Según Zabaleta (2010), el nivel máximo aceptable de saponina en la quinua para consumo humano oscila entre 0,06 y 0,12%. Esto concuerda con los resultados de pruebas sensoriales realizadas en la Universidad de Ambato, Ecuador, en donde determinó que el límite máximo de aceptación del contenido de saponina en el grano cocido, fue de 0,1%

El valor más bajo de contenido de saponina que se obtuvo en las muestras de quinua de este experimento fue de 0,18 %, concluyendo así que el método de desaponificado mediante lecho fluidizado pulsante utilizando arena común como material inerte no es eficiente porque no logra eliminar la saponina de la quinua hasta los niveles requeridos para el consumo humano.

**Tabla 25.** Análisis de varianza contenido de saponina de la quinua *Chenopodium quinoa*

<b>F de V</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F.cal</b>	<b>F. Tab 5%</b>	<b>F. Tab 1%</b>
<b>Total</b>	0,20	23				
<b>Trat.</b>	0,19	7	0,03	52,80 **	2,66	4,03
<b>FA</b>	0,0004	1	0,0004	0,79 ns	4,49	8,53
<b>FB</b>	0,04	1	0,04	76,94 **	4,49	8,53
<b>FC</b>	0,11	1	0,11	210,29 **	4,49	8,53
<b>IAB</b>	0,001	1	0,001	2,40 ns	4,49	8,53
<b>IAC</b>	0,002	1	0,002	3,42 ns	4,49	8,53
<b>IBC</b>	0,04	1	0,04	71,5 **	4,49	8,53
<b>IABC</b>	0,002	1	0,002	4,37 ns	4,49	8,53
<b>E.Exp</b>	0,01	16	0,001			

### **Coefficiente de Varianza**

C.V= 7,26

\*\* : Altamente significativo

ns: No Significativo

En la tabla 26, el análisis de varianza de la variable contenido de saponina de la quinua *Chenopodium quinoa* determinó alta significación estadística para tratamientos, y factores B (Relacion quinua/arena) y C (Velocidad de flujo de aire); lo que quiere decir que estos factores actúan de forma diferente en la desaponificación de los granos de quinua. De igual forma se observó que existe significación para la interacción BxC. Por lo tanto, se realizó las pruebas correspondientes de Tukey al 5% para tratamientos, Diferencia mínima significativa (DMS) para factores, y la gráfica de la interacción (BxC)

**Tabla 26.** Prueba de Tukey para tratamientos de la variable contenido de saponina de la quinua *Chenopodium quinoa*

N°	Tratamientos	Medias	Rango
T5	A2B1C1	0,41	a
T3	A1B2C1	0,39	b
T7	A2B2C1	0,38	c
T1	A1B1C1	0,35	c
T4	A1B2C2	0,33	d
T8	A2B2C2	0,33	d
T2	A1B1C2	0,18	e
T6	A2B1C2	0,16	e

Realizada la prueba de Tukey se puede observar que existen cinco rangos diferentes “a”, “b”, “c”, “d” y “e” para la variable contenido de saponina, con un comportamiento diferente; de los cuales T6 Y T2 correspondientes al rango “e” son los que presentan la mejor media, ya que las muestras de quinua determinan un menor contenido de saponina.

**Tabla 27.** Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor B

Factores	Medias	Rango
B2	0,36	a
B1	0,27	b

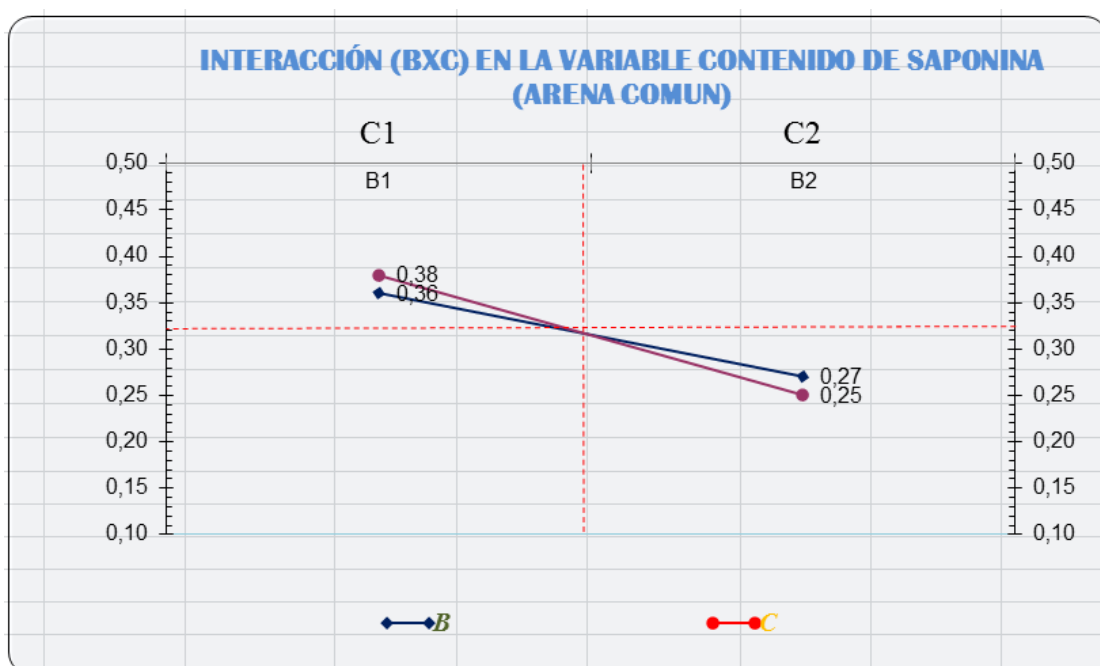
Según los resultados de la tabla 28, se establece dos rangos: “a” y “b”, para el factor B (Relación quinua/arena); en función de la variable contenido de saponina. La relación quinua/arena más apropiada para la desaponificación de la quinua es B1 (50g de quinua y 50g de arena) con una media de 0.27%.

**Tabla 28.** Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor C

Factores	Medias	Rango
C1	0,38	a
C2	0,28	b

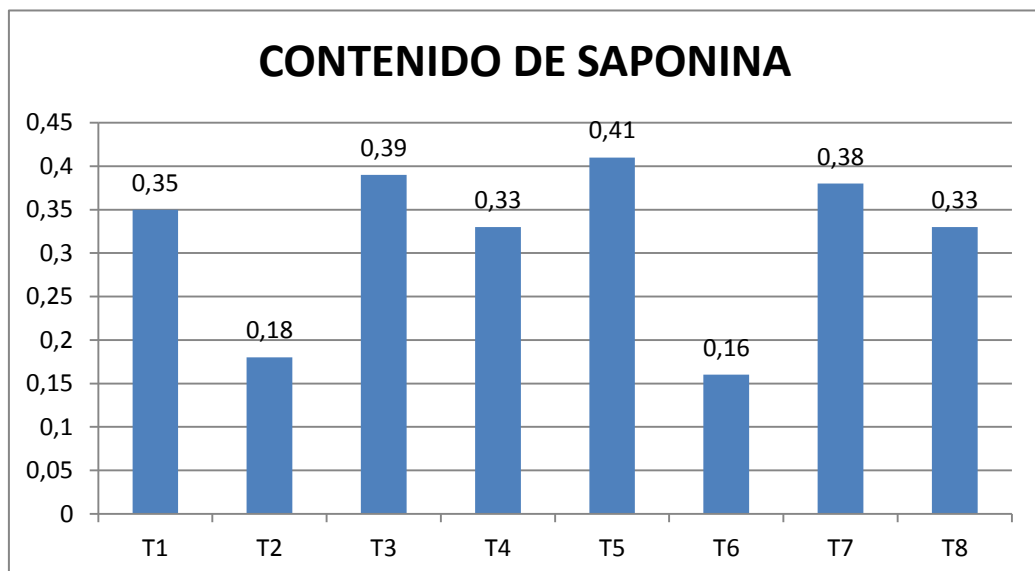
Según los resultados de la tabla 29, se establece dos rangos: “a” y “b”, para el factor C (Velocidad de flujo de aire); en función de la variable contenido de saponina. La velocidad de flujo de aire más apropiada para la desaponificación de la quinua es B1 (1,6 m/s) con una media de 0.28%.

**Grafico 17.** Interacción de los factores B (relación quinua/arena) y C (velocidad de flujo de aire) en la variable contenido de saponina.



En el gráfico 17 se puede apreciar el punto crítico en la interacción de los factores B (relación quinua/arena) y C (velocidad de flujo de aire). La interacción de estos factores dio como resultado 0,32%. Esta gráfica revela que es necesario que exista mayor velocidad (1,6 m/s) para obtener niveles de saponina más bajos. De igual manera indica que la combinación entre quinua y arena debe ser en las mismas proporciones (150 g de quinua y 150 g de arena) para obtener valores significativos en contenido de saponina que muestran una mayor desaponificación en el grano

**Gráfico 18.** Contenido de saponina en las muestras de quinua desaponificada utilizando material inerte (arena común).





En el gráfico 18 se puede observar que los mejores tratamientos son: T6 Y T2 por mostrar las medias más bajas para la variable evaluada contenido de saponina, lo que significa que su comportamiento es diferente en relación a los otros tratamientos. Este resultado muestra que entre mayor sea la severidad del proceso de desaponificado, los niveles de saponina en los granos de quinua serán más bajos.

**Anexo 3.** Desaponificado de quinua utilizando un material inerte (arena sílice).

Para realizar este experimento se utilizó arena sílice debido a que esta es mucho mas abrasiva y no se deshace fácilmente como ocurre en el caso de la arena común.

Para este proceso se procedió a tamizar la arena sílice para separar las partículas de arena de acuerdo a su diámetro. En este experimento se tomó en cuenta los siguientes factores:

**Factor A:** Diámetro de las partículas de arena sílice

- A1: 1,00 mm
- A2: 1,16 mm

**Factor B:** Relación quinua/arena sílice

- B1: 50 g quinua; 50 g arena
- B2: 50 g quinua; 100 g arena

**Factor C:** Velocidad de flujo de aire

- C1: 0,8 m/s
- C2: 1,6 m/s

**Tabla 29.** Contenido de saponina expresado en porcentaje (%)

Tratamientos	Repeticiones	$\Sigma$	X
--------------	--------------	----------	---

		I	II	III		
T1	A1B1C1	0,39	0,37	0,39	1,15	0,38
T2	A1B1C2	0,12	0,15	0,15	0,42	0,14
T3	A1B2C1	0,42	0,39	0,42	1,23	0,41
T4	A1B2C2	0,35	0,35	0,37	1,07	0,36
T5	A2B1C1	0,40	0,42	0,42	1,24	0,41
T6	A2B1C2	0,17	0,12	0,18	0,47	0,16
T7	A2B2C1	0,42	0,42	0,39	1,23	0,41
T8	A2B2C2	0,39	0,35	0,30	1,04	0,35
	$\Sigma$	2,66	2,57	2,62	7,85	2,62

La quinua contiene saponinas, las que se caracterizan por ser amargas, emulsificantes y espumantes. Según Zabaleta (2010), el nivel máximo aceptable de saponina en la quinua para consumo humano oscila entre 0,06 y 0,12%. Esto concuerda con los resultados de pruebas sensoriales realizadas en la Universidad de Ambato, Ecuador, en donde determinó que el límite máximo de aceptación del contenido de saponina en el grano cocido, fue de 0,1%

El valor más bajo de contenido de saponina que se obtuvo en las muestras de quinua de este experimento fue de 0,14 %, concluyendo así que el método de desaponificado mediante lecho fluidizado pulsante utilizando arena sílice como material inerte no es eficiente porque no logra eliminar la saponina de la quinua hasta los niveles requeridos para el consumo humano.

**Tabla 30.** Análisis de varianza contenido de saponina de la quinua *Chenopodium quinoa*.

F de V	SC	GL	CM	F.cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
<b>Total</b>	0,28	23				
<b>Trat.</b>	0,27	7	0,04	70,37 **	2,66	4,03
<b>FA</b>	0,001	1	0,001	0,92 ns	4,49	8,53
<b>FB</b>	0,07	1	0,07	126,99**	4,49	8,53
<b>FC</b>	0,14	1	0,14	261, 18**	4,49	8,53

<b>IAB</b>	0,001	1	0,001	1,916 ns	4,49	8,53
<b>IAC</b>	0,0003	1	0,0003	0,57 ns	4,49	8,53
<b>IBC</b>	0,06	1	0,06	100,82 **	4,49	8,53
<b>IABC</b>	0,0001	1	0,0001	0,21 ns	4,49	8,53
<b>E.Exp</b>	0,01	16	0,001			

Coefficiente de varianza

C.V: 7,1439

\*\* : Altamente significativo

ns: No Significativo

En la tabla 31, el análisis de varianza de la variable contenido de saponina de la quinua *Chenopodium quinoa* determina alta significación estadística para tratamientos, y factores B (Relación quinua/arena) y C (Velocidad de flujo d aire); lo que quiere decir que estos factores actúan de forma diferente en la desaponificación de los granos de quinua. De igual forma se observó que existe significación para la interacción BxC. Por lo tanto, se realizó las pruebas correspondientes de Tukey al 5% para tratamientos, Diferencia mínima significativa (DMS) para factores, y la gráfica de la interacción (BxC).

**Tabla 31.** Prueba de Tukey para tratamientos de la variable contenido de saponina de la quinua *Chenopodium quinoa*

<b>N°</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
T3	A1B2C1	0,41	a
T5	A2B1C1	0,41	a
T7	A2B2C1	0,41	b
T1	A1B1C1	0,38	c
T4	A1B2C2	0,36	c
T8	A2B2C2	0,35	d
T6	A2B1C2	0,16	e
T2	A1B1C2	0,14	e

Al analizar los resultados de la prueba de Tukey se encontró la significación estadística observándose cinco rangos a, b, c, d y e con un comportamiento diferente de los cuales, los tratamientos en el rango e son los que representan las mejores medias en contenido de saponina; siendo estadísticamente mejor el tratamiento T2 (diámetro de la arena 1,00 mm; 50g de quinua y 50g de arena; velocidad de flujo de aire 1,6m/s), ya que presenta menor contenido de saponina en la quinua.

**Tabla 32.** Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor B

Tratamientos	Medias	DMS
B2	0,38	a
B1	0,27	b

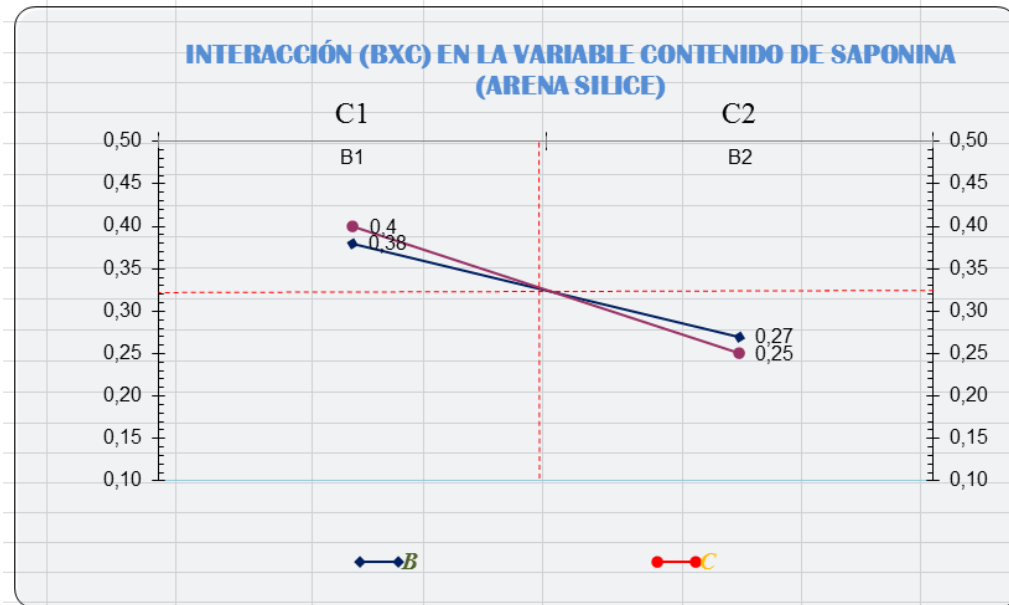
En la prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor B, se puede observar significación estadística, encontrándose 2 rangos los cuales muestran un comportamiento distinto. El nivel B2 (50g de quinua y 100g de arena) presenta la mayor media y le corresponde el rango “A”, lo que significa que la relación quinua/arena influye en la desaponificación de la quinua, para fines de la investigación el factor B1 (50g de quinua y 50g de arena) que ocupa rango “B” se lo considera el mejor tratamiento por tener menor porcentaje de saponina.

**Tabla 33.** Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor C

Tratamientos	Medias	DMS
C1	0,40	a
C2	0,25	b

En la prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor C, se puede observar que C1 (velocidad de flujo de aire 0,8 m/s) presenta la mayor media y le corresponde el rango “a”, lo que significa que la velocidad de flujo de aire influye en la desaponificación de la quinua, para fines de la investigación el factor C2 (velocidad de flujo de aire 1.6 m/s) que ocupa rango “b” se lo considera el mejor tratamiento por tener menor porcentaje de saponina.

**Grafico 19.** Interacción de los factores B (relación quinua/ arena) y C (velocidad de flujo de aire) en la variable contenido de saponina de quinua.

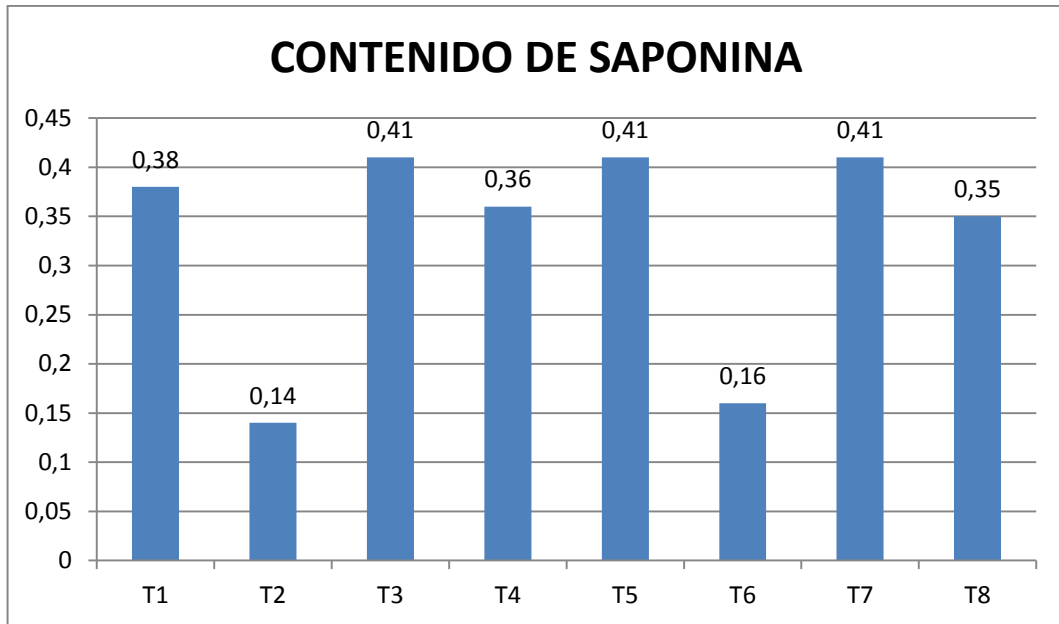


En el gráfico 19 el punto crítico en la interacción de los factores B y C contenido de saponina. La interacción de estos factores da como resultado de 0,33%.

Esta interacción revela que la combinación de los factores B (relación quinua/arena) y C (velocidad de flujo de aire), influyen en la desaponificación de la quinua. La interacción es directamente proporcional mostrándonos que es necesario que exista mayor velocidad (1,6 m/s) para obtener niveles de saponina más bajos. De igual manera indica que la combinación entre quinua y arena debe ser en las mismas proporciones (150 g de quinua y 150 g de arena) para obtener valores significativos en contenido de saponina que muestran una mayor desaponificación en el grano.

En el gráfico 19 se puede apreciar el punto crítico en la interacción de los factores B (relación quinua/arena) y C (velocidad de flujo de aire). La interacción de estos factores dio como resultado 0,33%. Esta gráfica revela que la combinación de los factores relación quinua/arena y velocidad de flujo de aire, influyen en la desaponificación de la quinua mediante lecho fluidizado pulsante.

**Gráfico 20.** Contenido de saponina en las muestras de quinua desaponificada utilizando material inerte (arena sílice).



En el gráfico 20 se puede observar que los mejores tratamientos son: T6 Y T2 por mostrar las medias más bajas para la variable evaluada contenido de saponina, lo que significa que su comportamiento es diferente en relación a los otros tratamientos. Este resultado muestra que entre mayor sea la severidad del proceso de desaponificado, los niveles de saponina en los granos de quinua serán más bajos.

#### **Anexo 4.** Desaponificado de quinua mediante lecho fluidizado pulsante (sin testigo).

Los parámetros en estudio están constituidos por la rugosidad de las paredes del reactor, y velocidad del flujo de aire y frecuencia de pulso.

##### **Factor A:** Rugosidad de las paredes del reactor

- A1:  $196 \times 10^{-6}$  m
- A2:  $523 \times 10^{-6}$  m

##### **Factor B:** Velocidad de flujo de aire

- B1: 0,8 m/s
- B2: 1,6 m/s

##### **Factor C:** Frecuencia de pulso

- C1: 0 pul/min

- C2: 100 pul/min
- C3: 150 pul/min

**Tabla 34.** Contenido de saponina expresado en porcentaje (%)

Tratamientos	Repeticiones			$\Sigma$	X	
	I	II	III			
T1	A1B1C1	0,40	0,39	0,39	<b>1,18</b>	<b>0,39</b>
T2	A1B1C2	0,42	0,44	0,42	<b>1,28</b>	<b>0,43</b>
T3	A1B1C3	0,39	0,35	0,39	<b>1,13</b>	<b>0,38</b>
T4	A1B2C1	0,10	0,08	0,09	<b>0,27</b>	<b>0,09</b>
T5	A1B2C2	0,12	0,16	0,16	<b>0,44</b>	<b>0,15</b>
T6	A1B2C3	0,09	0,10	0,10	<b>0,29</b>	<b>0,10</b>
T7	A2B1C1	0,38	0,39	0,38	<b>1,15</b>	<b>0,38</b>
T8	A2B1C2	0,44	0,40	0,39	<b>1,23</b>	<b>0,41</b>
T9	A2B1C3	0,39	0,45	0,40	<b>1,24</b>	<b>0,41</b>
T10	A2B2C1	0,33	0,33	0,35	<b>1,01</b>	<b>0,34</b>
T11	A2B2C2	0,35	0,37	0,39	<b>1,11</b>	<b>0,37</b>
T12	A2B2C3	0,39	0,35	0,37	<b>1,11</b>	<b>0,37</b>
	$\Sigma$	<b>3,80</b>	<b>3,81</b>	<b>3,83</b>	<b>11,44</b>	<b>3,82</b>

La quinua contiene saponinas, las que se caracterizan por ser amargas, emulsificantes y espumantes. Según Zabaleta (2010), el nivel máximo aceptable de saponina en la quinua para consumo humano oscila entre 0.06 y 0.12%. Esto concuerda con los resultados de pruebas sensoriales realizadas en la Universidad de Ambato, Ecuador, en donde determinó que el límite máximo de aceptación del contenido de saponina en el grano cocido, fue de 0.1%

El valor más bajo de contenido de saponina que se obtuvo en las muestras de quinua de este experimento fue de 0,1 %, concluyendo así que el método de desaponificado mediante lecho fluidizado pulsante logra eliminar la saponina de la quinua hasta los niveles requeridos para el consumo humano.

**Tabla 35.** Análisis de varianza contenido de saponina de la quinua *Chenopodium quinoa*

F de V	SC	GL	CM	F.cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
--------	----	----	----	-------	-----------	-----------

<b>Total</b>	0,54462	35					
<b>Trat.</b>	0,53649	11	0,04877	143,44 **	2,3	3,29	
<b>FA</b>	0,14188	1	0,14188	417,29 **	4,35	8,1	
<b>FB</b>	0,24668	1	0,24668	725,52 **	4,35	8,1	
<b>FC</b>	0,00867	2	0,00434	12,76 **	3,49	5,85	
<b>IAB</b>	0,133	1	0,133	391,18 **	4,35	8,1	
<b>IAC</b>	0,00379	2	0,0019	5,59 *	3,49	5,85	
<b>IBC</b>	0,00075	2	0,00038	1,12 ns	3,49	5,85	
<b>IABC</b>	0,00172	2	0,00086	2,53 ns	3,49	5,85	
<b>E.Exp</b>	0,00813	24	0,00034				

Coefficiente de Varianza

CV: 5,80

\*: Significativo

\*\* : Altamente significativo

ns: No Significativo

En la tabla 36, el análisis de varianza de la variable contenido de saponina de la quinua *Chenopodium quinoa* determina alta significación estadística para tratamientos, y factores A (Rugosidad de las paredes del reactor), B (velocidad de flujo de aire) y C (frecuencia de pulso); lo que quiere decir que estos factores actúan de forma diferente en la desaponificación de los granos de quinua. De igual forma se observó que existe significación para la interacción Ax C. Por lo tanto, se realizó las pruebas correspondientes de Tukey al 5% para tratamientos, Diferencia mínima significativa (DMS) para factores, y la gráfica de la interacción (Ax C).

**Tabla 36.** Prueba de Tukey para tratamientos de la variable contenido de saponina de la quinua *Chenopodium quinoa*



N°	TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
T2	A1B1C2	0,43	a
T8	A2B1C2	0,41	b
T9	A2B1C3	0,41	b
T1	A1B1C1	0,39	c
T3	A1B1C3	0,38	d
T7	A2B1C1	0,38	d
T11	A2B2C2	0,37	e
T12	A2B2C3	0,37	e
T10	A2B2C1	0,34	f
T5	A1B2C2	0,15	g
T6	A1B2C3	0,10	h
T4	A1B2C1	0,09	h

Al analizar los resultados de la prueba de Tukey se encontró la significación estadística observándose nueve rangos a, b, c, d, e, f, g, h, con un comportamiento diferente de los cuales el T6 (rugosidad de las paredes del reactor:  $196 \times 10^{-6}$  m; velocidad de flujo de aire: 1,6 m/s; frecuencia de pulso: 150 pul/min) y T4 (rugosidad de las paredes del reactor:  $196 \times 10^{-6}$  m; velocidad de flujo de aire: 1,6 m/s; frecuencia de pulso: 0 pul/min) correspondientes al rango I son los que presentan las mejores medias en lo que significa que presentan menor contenido de saponina en la quinua.

**Tabla 37.** Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor A

Tratamientos	Medias	DMS
A2	0,38	a
A1	0,26	b

Según el análisis estadístico la rugosidad de las paredes del reactor más apropiada para la desaponificación de la quinua es A1 (Rugosidad de las paredes:  $196 \times 10^{-6}$  m) con una media de 0.26%

**Tabla 38.** Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor B

Tratamientos	Medias	DMS
B1	0,40	a
B2	0,24	b

Según el análisis estadístico la velocidad de flujo más apropiada para la desaponificación de la quinua es la correspondiente a B2 (Velocidad de flujo de aire: 1,6 m/s) con una media de 0,24%

**Tabla 39.** Prueba Diferencia mínima significativa al 5% para el factor C

Tratamientos	Medias	DMS
C2	0,34	a
C3	0,31	b
C1	0,30	b

Según el análisis estadístico la frecuencia de pulso más apropiada para la desaponificación de la quinua es C1 (frecuencia de pulso: 0 pul/min) con una media de 0,30%

**Grafico 21.** Interacción de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y B (Velocidad de flujo de aire) en la variable contenido de saponina de la quinua.

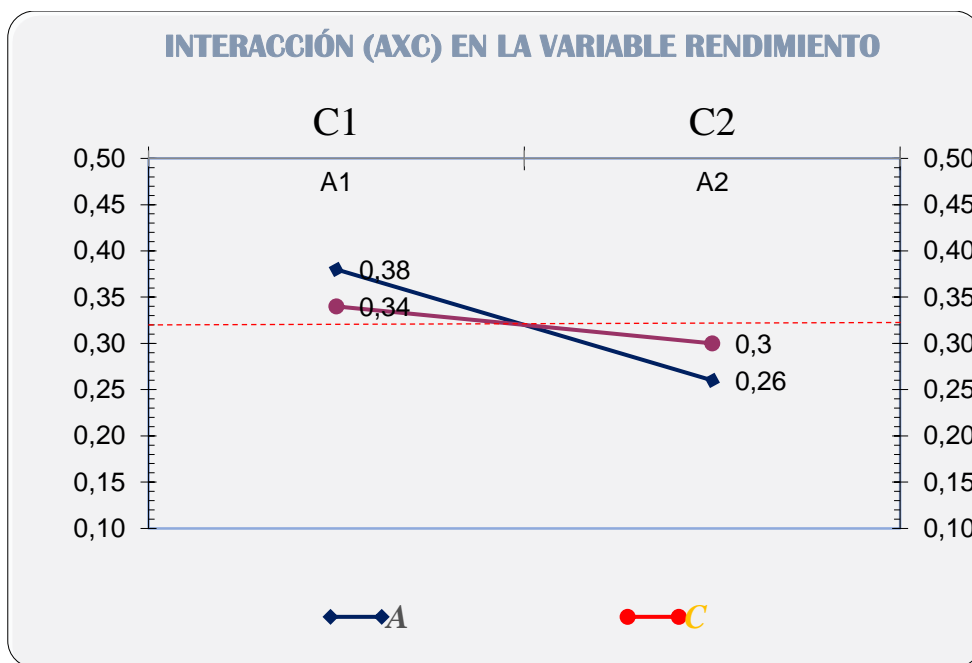


En el gráfico 21 el punto crítico en la interacción de los factores A y B contenido de saponina. La interacción de estos factores da como resultado de 0,32%.

Esta interacción revela que la combinación de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y B (velocidad de flujo de aire), influyen en la desaponificación de la quinua, mostrándonos que es necesario que exista una rugosidad en las paredes del reactor de 196  $\mu\text{m}$  para obtener niveles de saponina más bajos. De igual manera indica que la velocidad de flujo de aire debe ser mayor o superior a 1,6 m/s para obtener valores significativos en contenido de saponina que muestran un mayor grado de desaponificación en el grano, lo cual parece estar relacionado con el tiempo máximo de contacto del grano con la superficie

rugosa, cuando la superficie es más rugosa que ( $196 \times 10^{-6} \text{ m}$ ) se producen choque entre la quinua y los granos de la superficie frenando el movimiento y el tiempo de fricción del grano de quinua con la superficie rugosa disminuye, por otro lado el aumento de la velocidad del aire proporciona mayor cantidad de movimiento a los granos de quinua y por tanto aumento en el tiempo de contacto con la superficie rugosa.

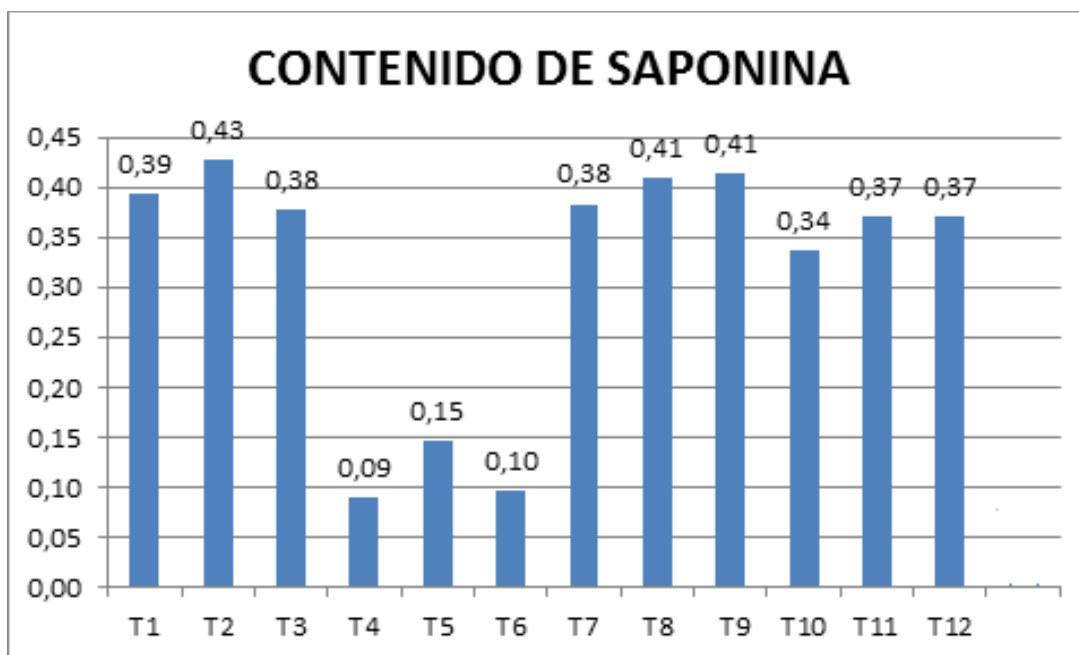
**Grafico 22.** Interacción de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y C (Frecuencia de pulso) en la variable contenido de saponina de la quinua.



En el grafico 22 el punto crítico en la interacción de los factores A y C contenido de saponina. La interacción de estos factores da como resultado de 0,32%.

Esta interacción revela que la combinación de los factores A (Rugosidad de las paredes del reactor) y C (frecuencia de pulso), influyen en la desaponificación de la quinua. La interacción es directamente proporcional mostrándonos que es necesario que exista menor rugosidad de las paredes del reactor ( $196 \times 10^{-6} \text{ m}$ ) para obtener niveles de saponina más bajos. De igual manera indica que no deben existir pulsaciones (0 pul/min) para obtener valores significativos en contenido de saponina que muestran mayor grado de desaponificación del grano.

**Grafico 23.** Contenido de saponina en las muestras de quinua desaponificada mediante lecho fluidizado pulsante (sin testigo)



En el gráfico 23 se puede observar que los mejores tratamientos son: T6 Y T4 por mostrar las medias más bajas para la variable evaluada contenido de saponina, lo que significa que su comportamiento es diferente en relación a los otros tratamientos. Este resultado muestra que entre mayor sea la severidad del proceso de desaponificado, los niveles de saponina en el grano de quinua serán más bajos.

**Anexo 5.** Norma INEN 1672: Determinación del contenido de saponina por medio del método espumoso (método de rutina)

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria</b>	<b>QUINUA. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SAPONINAS POR MEDIO DEL MÉTODO ESPUMOSO (MÉTODO DE RUTINA)</b>	<b>INEN 1 672</b> 1988-04
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece el método de ensayo para la determinación del contenido de saponinas.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Este método se aplica a la quinua con contenido de saponinas comprendido entre 0,005% (0,2 cm) hasta 0,37 % (3,0 cm).</p> <p style="text-align: center;"><b>3. FUNDAMENTO</b></p> <p>3.1 Este método físico se basa en las propiedades tensoactivas de las saponinas. Cuando se disuelven en agua y se agitan, las saponinas dan una espuma estable, cuya altura puede correlacionarse con el contenido de saponinas en los granos.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. INSTRUMENTAL</b></p> <p><b>3.1 Materiales.</b></p> <p>3.1.1 Tubos de ensayo con tapones de rosca; L = 160 mm, Ø = 16 mm, SUL 15.</p> <p>3.1.2 Probeta de 10 cm<sup>3</sup></p> <p>3.1.3 Cronómetro (reloj)</p> <p>3.1.4 Balanza sensible al 0,01 g</p> <p>3.1.5 Regla sensible al 0,1 cm.</p> <p>3.1.6 Portatubos.</p> <p><b>3.2 Reactivos</b></p> <p>3.2.1 Agua destilada o agua de pureza equivalente.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p>		

#### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Colocar  $0,50 \pm 0,02$  g de granos de quinua en un tubo de ensayo.
- 4.2 Añadir  $5,0 \text{ cm}^3$  de agua destilada y tapar el tubo. Poner en marcha el cronómetro y sacudir fuertemente el tubo durante 30 segundos.
- 4.3 Dejar el tubo en reposo durante 30 minutos, luego sacudirlo otra vez durante 30 segundos.
- 4.4 Dejar el tubo en reposo durante 30 minutos o más, luego sacudir otra vez durante 30 segundos. Dar al tubo una última sacudida fuerte.
- 4.5 Dejar el tubo en reposo durante 5 minutos, luego medir la altura de espuma con aproximación al 0,1 cm.

#### 5. CÁLCULOS

- 5.1 El contenido de saponinas de la quinua en grano, expresado en porcentaje, se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$P_s = \frac{(0,646 \times h) - 0,104}{m \times 10}$$

Siendo:

- $P_s$  = el contenido de saponinas de la quinua, en porcentaje en masa;  
 $h$  = altura de espuma, en cm;  
 $m$  = masa de la muestra, en g.

#### 6. INFORME DE RESULTADOS

- 6.1 Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de las determinaciones efectuadas por duplicado.
- 6.2 En el Informe de resultados, debe indicarse el resultado obtenido. Además, debe mencionarse cualquier condición de operación no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influenciado sobre el resultado.
- 6.3 El informe incluirá todos los detalles necesarios para una completa identificación de la muestra.

(Continúa)


**APENDICE Z****Z.1 NORMAS A CONSULTAR**

Esta norma no requiere de otras para su aplicación,

**Z. 2 BASES DE ESTUDIO**

Centro Nestlé de Investigación y Desarrollo para América Latina, LATINRECO. S.A. *Determinación del contenido de saponinas en quinua por el método espumoso*, Quito, 1987.

Anexo 6. Norma INEN 1670: Determinación de la proteína total.

CDU: 8331		AG 05.04-314
<b>Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria</b>	<b>QUINUA. DETERMINACIÓN DE LA PROTEINA TOTAL (PROTEINA CRUDA)</b>	<b>INEN 1 670</b> 1988-07
<b>1. OBJETO</b>		
<p>1.1 Esta norma establece el método de ensayo Kjeldahl para la determinación del contenido de proteína total en la quinua en grano.</p>		
<b>2. FUNDAMENTO</b>		
<p>2.1 Mineralizar la muestra por vía húmeda y alcalinizar por medio de una solución de hidróxido de sodio. El amonio liberado es arrastrado por destilación y recogido en una cantidad determinada de ácido sulfúrico, valorando el exceso con una solución de hidróxido de sodio.</p>		
<b>3. INSTRUMENTAL</b>		
<b>3.1 Material y equipos.</b>		
3.1.1 <i>Mineralizador y destilador Kjeldahl.</i>		
3.1.2 <i>Molino de laboratorio, de manera de obtener un tamaño de partícula de 1,0 mm (ver INEN 154).</i>		
<b>4. REACTIVOS</b>		
<p>4.1 Todos los reactivos deben ser reconocidos en cuanto a su calidad analítica. El agua utilizada será destilada o agua de pureza equivalente.</p>		
4.1.1 <i>Sulfato de potasio.</i>		
4.1.2 <i>Catalizador: óxido de cobre (CuO) o sulfato de cobre cristalizado (SO<sub>4</sub>Cu.5H<sub>2</sub>O).</i>		
4.1.3 <i>Cinc granulado.</i>		
4.1.4 <i>Acido sulfúrico, d = 1,84</i>		
4.1.5 <i>Acido sulfúrico 0,1 N</i>		
4.1.6 <i>Acido sulfúrico 0,5N</i>		
4.1.7 <i>Indicador de fenoltaleína. Disolver 100 mg de fenoltaleína en 100 cm<sup>3</sup> de etanol de 70 % (V/V).</i>		
4.1.8 <i>Rojo de metilo. Disolver 300 mg de rojo de metilo en 100 cm<sup>3</sup> de etanol del 95 - 96%(V/V).</i>		
<i>(Continúa)</i>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3598 - Baquerizo Moreno Es-29 y Almagro - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción



4.1.9 Solución de hidróxido de sodio al 30%(m/V).

4.1.10 Solución de hidróxido de sodio 0,1N

4.1.11 Solución de hidróxido de sodio 0,25N

4.1.12 Solución saturada de sulfato de sodio.

4.1.13 Solución de sulfato de potasio al 4% (m/V).

4.1.14 Solución de tiosulfato de sodio al 8 % (m/V).

4.1.15 Núcleos de ebullición.

## 5. METODO DE ENSAYO

### 5.1 Preparación de la muestra.

5.1.1 Moler la muestra de manera que el 99% de las partículas pasen a través del tamiz de 1,0 mm (No. 18).

### 5.2 Procedimiento.

#### 5.2.1 Mineralización.

5.2.1.1 Pesar con precisión de 1 mg, aproximadamente, 1 g de muestra e introducir en el matraz de mineralización. Añadir 10 a 15 g de sulfato potásico, 0,3 a 0,4 g del catalizador óxido de cobre a 0,9 a 1,2 g de sulfato cúprico, 25 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico y algunos núcleos de ebullición. Homogenizar. Calentar el matraz inicialmente con moderación, agitando, de vez en cuando, hasta carbonización de la masa y desaparición de espuma, calentar más intensamente hasta ebullición, evitando el sobrecalentamiento y adherencia de partículas orgánicas.

Cuando la solución aparece transparente e incolora (verde claro en presencia de catalizador a base de cobre), mantener la ebullición una hora, dejando enfriar a continuación.

#### 5.2.2 Destilación.

5.2.2.1 Añadir con precaución y agitando 250 a 350 cm<sup>3</sup> de agua, comprobando que los sulfatos estén disueltos totalmente. Dejar enfriar, añadir algunos gránulos de clc y algunas gotas de indicador de fenolftaleína

5.2.2.2 Introducir en la matraz colector del equipo de destilar 25 cm<sup>3</sup> exactamente medidos, de ácido sulfúrico 0,1 N ó 0,5N, según que el producto sea pobre o rico en materias nitrogenadas y algunas gotas de indicador rojo de metilo.

(Continua)

5.2.2.3 Unir el matraz al refrigerante del equipo de destilación, sumergiendo la parte extrema de éste en el líquido del matraz colector por lo menos 1 cm. Introducir lentamente en el matraz, por medio de un embudo con llave, 120 cm<sup>3</sup> de solución de hidróxido de sodio, al 30% o más cantidad, si fuera necesario, debiéndose mantener la coloración roja, hasta el fin de la destilación.

5.2.2.4 Calentar el matraz de manera que se destile 150 cm<sup>3</sup> de líquido en 30 minutos. Después de este tiempo comprobar la neutralidad del destilado por medio del papel de tornasol. Si la reacción es alcalina, continuar con la destilación hasta que el papel de tornasol indique neutralidad en la solución. Al final de la destilación, observar, de vez en cuando, la coloración de la solución en el colector. Si vira a amarillo, añadir enseguida un volumen exactamente medido de ácido sulfúrico 0,1 N ó 0, 5N.

### 5.2.3 Valoración.

5.2.3.1 Valorar en el matraz colector el exceso de ácido sulfúrico con la solución de hidróxido sódico 0,1 N ó 0,25N, según la normalidad del ácido sulfúrico utilizado hasta que la solución vire al amarillo claro.

### 5.3 Cálculos.

5.3.1 El contenido de proteína total en porcentaje se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$PT = \frac{1,4 \times 6,25 (V \times N - V' \times N')}{m}$$

Donde:

PT = contenido de proteína total

V = volumen, en cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico introducido en el vaso

N = normalidad de la solución de ácido sulfúrico

V' = volumen, en cm<sup>3</sup> de NaOH consumido en la valoración

N' = normalidad de la solución de NaOH.

m = masa de la muestra, en gramos

## 6. INFORME DE RESULTADOS

6.1 Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de las determinaciones efectuadas por duplicado.

6.2 En el Informe de resultados, debe indicarse el resultado obtenido. Además, debe mencionarse cualquier condición de operación no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influenciado sobre el resultado.

6.3 El Informe incluirá todos los detalles necesarios para una completa identificación de la muestra

(Continúa)

**APENDICE Z****Z.1 NORMAS A CONSULTAR**

INEN 154 *Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas.*

**Z.2 BASES DE ESTUDIO**

Norma española UNE 004 *Piensos compuestos y primeras materias. Proteína total.* Instituto Nacional de Racionalización. Madrid, 1978.

Norma peruana ITINTEC 2005.005 *Cereales y Menestras. Determinación de Proteínas totales.* Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas. Lima, 1979.

D. Pearson. *Técnicas de Laboratorio para el Análisis de los alimentos.* Editorial Acribla. Zaragoza, 1976.

Anexo 7. Norma INEN 1673: Quinoa requisitos

CDU: 633.1



AG 05-04.412

<p><b>Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria</b></p>	<p><b>QUINUA. REQUISITOS</b></p>	<p><b>INEN 1 673</b>  1988-08</p>
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el grano de quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd).</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Esta norma se aplica a la quinoa en grano.</p> <p>2.2 Esta norma no se aplica a la quinoa destinada a semilla.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. TERMINOLOGIA</b></p> <p>3.1 <b>Masa hectolítica.</b> Masa de grano por unidad de volumen, expresada en kilogramos por hectolitro.</p> <p>3.2 <b>Insecto primario.</b> Es el insecto capaz de romper el grano por sí solo, es decir, sin que por otros medios se facilite el ataque.</p> <p>3.3 <b>Insecto secundario.</b> Es el insecto que por sí solo no es capaz de romper el grano, es decir, que necesita la presencia de insectos primarios u otros medios que faciliten el ataque.</p> <p>3.4 <b>Grano infestado.</b> Es aquel que porta en su superficie o en su parte interna insectos vivos o muertos en cualesquiera de sus estados biológicos.</p> <p>3.5 <b>Impurezas.</b> Para efectos de esta norma, comprende:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- granos dañados por calor.</li> <li>- granos dañados por humedad.</li> <li>- granos quebrados, germinados y ennegrecidos.</li> <li>- granos dañados por insectos.</li> <li>- otros granos.</li> <li>- excremento de animales y vegetales.</li> <li>- otros materiales dañinos.</li> </ul> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casa Ila 17-0 1-3999 - Baquerizo Moreno 09-09 y Alimagro - Guano-Ecuador - Prohibida la reproducción

**3.6 Sachaquinua.** Aquellas que corresponden a especies silvestres de quinua, entre las más importantes son las siguientes:

Chenopodium album  
Chenopodium hircinum  
Chenopodium quinoa var. millanum

**3.7 Granos de otro color.** Granos de *Chenopodium quinoa* Willd de color marrón o negro, o de color diferente al de la variedad.

**3.8 Granos dañados.** Grano de quinua que ha sufrido deterioro por la acción de insectos o agentes patógenos, que este fermentando, germinando o dañado por cualquier otra causa, observables a simple vista.

#### 4. CLASIFICACION

**4.1** La quinua en grano se clasifica en los grados 1, 2 y 3, de acuerdo con los requisitos indicados en la Tabla 1.

#### 5. REQUISITOS

**5.1 Color.** La quinua en grano debe presentar un color natural y uniforme, característico de la variedad.

**5.2 Sabor.** Para efectos de esta norma de acuerdo con la prueba de espuma, se considera como quinua dulce aquella que da una altura de espuma de 1,0 cm o menor y como quinua amarga aquella que da una altura de espuma superior a 1,0 cm (ver Norma INEN 1 672).

**5.3 Olor.** La quinua en grano, en un examen organoléptico, debe estar libre de olores producidos por contaminación de mohos o por una mala conservación u otros olores objetables.

**5.4 Humedad.** El contenido máximo de humedad de la quinua en grano será del 12% (m/m); (ver INEN 1 235).

**5.5 Residuos de pesticidas.** La quinua en grano no debe contener residuos de pesticidas y sus metabolitos en cantidades superiores a las tolerancias máximas admitidas por las regulaciones vigentes.

**5.6 Impurezas.** El contenido de impurezas totales de la quinua en grano no excederá del 3 % (m/m), (Ver Norma INEN 1 671) y el porcentaje de grano cubierto con perigonio no deberá exceder del 8 %.

**5.7 Grados de quinua.** La quinua en grano ensayada con las normas INEN correspondientes deben cumplir con los requisitos establecidos en la Tabla 1. El grado que se asigne al lote será el que corresponda al factor de calidad más bajo de la muestra.

(Continúa)

TABLA 1. Determinación de los grados de la calidad de la quinua

Grado	Masa Hectolítica (mínima)		Porcentaje Mín. de proteína cruda *	Tamaño del grano ** en mm	Porcentaje máx. en masa		
	Q. dulce	Q. amarga			Sacha quinua y granos de otro color	Granos dañados	Excrementos de animales
1	62	66	13	Mayor o igual a 1,8	0,1	0,1	0,01
2	60	64	13	Menor a 1,8	0,5	0,5	0,01
3	58	62	13	Menor a 1,8	1,0	1,0	0,01

\* Porcentaje de proteína cruda expresado sobre la base del 12% de humedad. (Ver INEN 1670).

\*\* Equivalente al tamaño nominal del tamiz de orificios redondos en mm

**5.8 Insectos.** El nivel de infestación por insectos en la muestra de quinua en grano, expresado como el número de insectos presentes por kilogramo de muestra, tal como se indica en la Tabla 2; (ver INEN 1 671).

TABLA 2. Niveles de infestación de insectos en la quinua en grano

NIVEL DE INFESTACION	No. Total de insectos permitidos primarios y secundarios
Libre	0
Ligeramente infestado	3
Infestado	Mayor de 3

(Continúa)

## 6. REQUISITOS COMPLEMENTARIOS

**6.1 Envase.** El material de envase debe ser resistente a la acción del producto, de manera que no altere su composición química y su calidad organoléptica.

**6.2** La comercialización del producto cumplirá con lo dispuesto en las Regulaciones y Resoluciones dictadas, con sujeción a la Ley de Pesas y Medidas.

## 7. MUESTREO

**7.1** El muestreo se efectuará de acuerdo con la Norma INEN 1 233.

(Continúa)

## APENDICE Z

### Z.1 NORMAS A CONSULTAR

INEN 1 233	<i>Granos y cereales Muestreo.</i>
INEN 1 235	<i>Granos y cereales. Determinación del contenido de humedad (Método de rutina).</i>
INEN 1 670	<i>Quinua. Determinación de la proteína total.</i>
INEN 1 671	<i>Quinua. Determinación del nivel de infestación y de las impurezas.</i>
INEN 1 672	<i>Quinua. Determinación del contenido de saponinas por medio del método espumoso (método de rutina).</i>

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

C. Nieto, J. Rea, R. Castillo, E. Peralta. *Guía para el manejo y Preservación de los Recursos Fitogenéticos INIAP*, Publicación Micalánea No. 47. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito, 1984.

*Historia de las Dos Primeras Variedades de Quinua*, INIAP. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito, 1986.

*II Congreso Internacional de Cultivos Andinos*. ITCA. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Organización de Estados Americanos. Riobamba, 1980.

*Programa de cultivos Andinos. Convenio INIAP-CI ID, II Fase*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro Internacional de Investigaciones para el desarrollo. Quito, 1986.

Centro Nestlé de Investigación y Desarrollo para América Latina, LATINRECO S.A. *Determinación del contenido de saponinas en quinua por el método espumoso*. Quito, 1987.

C. Nieto, R. Castillo, E. Peralta. *Guía para la producción de semilla de quinua*. INIAP, Boletín divulgativo No. 186. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito, 1986.

Norma Colombiana ICONTEC 602 (Segunda Revisión). *Granos y Cereales. Sorgo o milo granifero para consumo*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, 1979.

Norma ecuatoriana. INEN 1 465. *Granos y cereales almacenados. Clasificación de insectos y ácaros*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, 1987.

*Reunión Nacional sobre Producción, Uso y Comercialización del Cultivo de Quinua*. Memorias. INIAP. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito, 1987.



## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

<b>Documento:</b> NTE INEN 1 673	<b>TÍTULO:</b> QUINUA. REQUISITOS	<b>Código:</b> AG 05.04-412
-------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------

<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio: 1987-08-06	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo Oficialización con el Carácter de Por Acuerdo No. de Publicado en el Registro Oficial No. de Fecha de iniciación del estudio:
---	--

Fechas de consulta pública: de \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_

La Dirección General considerando la necesidad de contar con una norma que establezca los requisitos de calidad para la quinua dispuso la elaboración de esta norma.

Subcomité Técnico: AG 05.04 QUINUA

Fecha de iniciación:

Fecha de aprobación: 1988-02-22

Integrantes del Subcomité Técnico:

**NOMBRES:**

**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

Ing. Carlos Nieto (Vicepresidente)  
 Sr. Leo Hamburger  
 Ing. Samuel Von Rutte  
 Ing. Christian Vahl  
 Ing. Milton Alvarez  
 Sr. Anibal Hailo  
 Dr. Renato Andrade  
 Ing. Oswaldo Acuña

Ing. César Cáceres  
 Ing. Jorge Mantilla  
 Ing. Alberto Espinosa (Secretario Técnico)

INIAP  
 AGROINDUSTRIAL CHIMBORAZO S.A.  
 LATINRECO S.A.  
 LATINRECO S.A.  
 LATINRECO S.A.  
 TALAHUA  
 QUINUASA  
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
 TECNOLOGICAS DE LA ESCUELA  
 POLITECNICA NACIONAL  
 MAG - CEREALES  
 PROQUINUA  
 INEN

Otros trámites:

El Consejo Directivo del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 1988-06-27

Oficializada como: Obligatoria  
 Registro Oficial No. 978 de 1988-07-14

Por Acuerdo Ministerial No. 290 de 1988-07-06

**Anexo 8.** Resultado del Análisis de proteína de la materia prima y de los mejores tratamientos.



Laboratorio acreditado por:  
American Association For Laboratory Accreditation



Certificados Nº 2102-01/02



Servicio de Acreditación Ecuatoriano

Acreditación N° 041 LE 10 05-001 LABORATORIO DE ENSAYOS

LABORATORIO ACREDITADO BAJO NORMA ISO/IEC 17025

**INFORME DE ENSAYO NR. 107728**

**TIPO MUESTRA:** Declarado por el cliente como: QUINUA - MUESTRA INICIAL

**CODIGO LABORATORIO:** 107726- 1

**TIPO DE PRODUCTO:** QUINUA - MUESTRA INICIAL

**CLIENTE:** DIANA CHINGAL

**DIRECCION:** IBARRA

**CONDICION LLEGADA Y TIPO DE ENVASE:** ENVASE PLASTICO CON TAPA

**NUMERO DE LOTE:** ND

**FECHA RECEPCION:** 16/01/15

**FECHA INICIO ENSAYO:** 16/01/15

**CONTENIDO DECLARADO:** ND

**CONTENIDO ENCONTRADO:** 225 g

**FECHA DE ELABORACION:** ND

**FECHA DE CADUCIDAD:** ND

**CONDICIONES AMBIENTALES DE LLEGADA DE LA MUESTRA:** Temperatura 23 ° C

**FORMA DE CONSERVACION:** AMBIENTE

**MUESTREO:** ES RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE

ENSAYOS FISICO QUIMICOS	METODO	UNIDAD	RESULTADO
Proteína F=8.25	SEMM-FQ PROTEINA (AOAC 2001.11)	%	12,23

NS: No solicita el cliente / ND: No declara.

Datos tomados del cuaderno de FQ 85 Pág. 192A

INCERTIDUMBRE:		
PARAMETRO FISICO QUIMICO	INCERTIDUMBRE	La incertidumbre expandida reportada esta basada en una incertidumbre típica multiplicada por un factor de cobertura K=2, proporcionando un nivel de confianza de aproximadamente en 95%
PROTEINA	±0,84% (%)	

Los resultados expresados arriba tienen validez solo para la muestra analizada en condiciones específicas no siendo extensivo a cualquier lote.

El laboratorio no se responsabiliza por la representatividad de la muestra respecto a su origen y sitio del cual fue tomado

Este informe no será reproducido, excepto en su totalidad con la aprobación del Director Técnico

• **Tiempo de almacenamiento de informes:** Cinco años a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

Atentamente,

Dra. Mayra Vinuesa  
Director de Calidad  
Director Técnico (E)

16/01/22  
FECHA EMISION

Página 1 de 1

Tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio

Muestras perecibles: 8 días calendario; Muestras no perecibles: 30 días calendario. Solicitar inspección de algún parámetro, se debe generar una solicitud en el periodo estipulado

Melchor Toaza N61-63 entre Av. del Maestro y Nazareth  
Telfs.: 248 3145 / 280 8849 / 247 6314 Telefax: 280 8825 www.seidlaboratory.com



SEIDLaboratory Cía. Ltda.

SERVICIO INTEGRAL DE LABORATORIO

Laboratorio acreditado por:  
Amelcon Association For Laboratory Accreditation



Certificado N° 2102-01/02



Servicio de  
Acreditación  
Ecuatoriano

Acreditación N° CNE DE 1C 05-001  
LABORATORIO DE ENSAYOS

LABORATORIO ACREDITADO BAJO NORMA ISO/IEC 17025

### INFORME DE ENSAYO NR. 107726

**TIPO MUESTRA:** Declarado por el cliente como: **QUINUA - A1 B2 C**

**CODIGO LABORATORIO:** 107726- 1  
**TIPO DE PRODUCTO:** QUINUA - A1 B2 C  
**CLIENTE:** DIANA CHINGAL  
**DIRECCIÓN:** IBARRA

**CONDICIÓN LLEGADA Y TIPO DE ENVASE:** ENVASE PLASTICO CON TAPA  
**NUMERO DE LOTE:** ND  
**FECHA RECEPCION:** 16/01/15  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 16/01/15  
**CONTENIDO DECLARADO:** ND  
**CONTENIDO ENCONTRADO:** 241 g  
**FECHA DE ELABORACION:** ND  
**FECHA DE CADUCIDAD:** ND

**CONDICIONES AMBIENTALES DE LLEGADA DE LA MUESTRA:** Temperatura 23 ° C

**FORMA DE CONSERVACIÓN:** AMBIENTE

**MUESTREO:** ES RESPONSABILIDAD DEL CUENTE

ENSAYOS FISICO QUIMICOS	METODO	UNIDAD	RESULTADO
Proteína F=6.25	SEMM-FQ PROTEINA (AOAC 2001.11)	%	12.61

NS: No solicita el cliente / ND: No declara.

Datos tomados del cuaderno de FQ B4 Pág. 166A

INCERTIDUMBRE:		La incertidumbre expandida reportada esta basada en una incertidumbre típica multiplicada por un factor de cobertura K=2, proporcionando un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.
PARÁMETRO FISICO QUIMICO	INCERTIDUMBRE	
PROTEINA	±10.94% (5)	

Los resultados expresados arriba tienen validez solo para la muestra analizada en condiciones específicas no siendo extensivo a cualquier lote.

El laboratorio no se responsabiliza por la representatividad de la muestra respecto a su origen y sitio del cual fue tomado

Este informe no será reproducido, excepto en su totalidad con la aprobación del Director Técnico

• Tiempo de almacenamiento de informes: Cinco años a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

Atentamente,

Dra. Mayra Vinueza  
Director de Calidad  
Director Técnico (E)

16/01/22  
FECHA EMISION

Tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio  
Muestras perecibles: 8 días calendario; Muestras no perecibles: 20 días calendario. Si desea replicación de algún parámetro, se debe generar una etiqueta en el parámetro solicitado.

Página 1 de 1

Melchor Toaza N61-63 entre Av. del Maestro y Nazareth  
Telfs.: 248 3145 / 280 8849 / 247 6314 Telefax: 280 8825 www.seidlaboratory.com



SEIDLaboratory Cía. Ltda.

SERVICIO INTEGRAL DE LABORATORIO

Laboratorio acreditado por:  
American Association For Laboratory Accreditation



Certificados Nº 2102-01/00



Servicio de  
Acreditación  
Ecuatoriano

Acreditación Nº 041 LE 10 05-001  
LABORATORIO DE ENSAYOS

LABORATORIO ACREDITADO BAJO NORMA ISO/IEC 17025

### INFORME DE ENSAYO NR. 107727

**TIPO MUESTRA:** Declarado por el cliente como: **QUINUA - A2 B2 C3**

**CODIGO LABORATORIO:** 107727- 1  
**TIPO DE PRODUCTO:** QUINUA - A2 B2 C3  
**CLIENTE:** DIANA CHINGAL  
**DIRECCION:** IBARRA

**CONDICION LLEGADA Y TIPO DE ENVASE:** ENVASE PLASTICO CON TAPA  
**NUMERO DE LOTE:** ND  
**FECHA RECEPCION:** 16/01/15  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 16/01/15  
**CONTENIDO DECLARADO:** ND  
**CONTENIDO ENCONTRADO:** 236 g  
**FECHA DE ELABORACION:** ND  
**FECHA DE CADUCIDAD:** ND

**CONDICIONES AMBIENTALES DE LLEGADA DE LA MUESTRA:** Temperatura 23 ° C

**FORMA DE CONSERVACION:** AMBIENTE

**MUESTREO:** ES RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE

ENSAYOS FISICO QUIMICOS	METODO	UNIDAD	RESULTADO
Proteina F=5.25	SEMM-FQ PROTEINA (ACAC 2001.11)	%	12,21

NS: No solicita el cliente / ND: No declara.

Datos tomados del cuaderno de FQ 90 Pág. 70B

INCERTIDUMBRE:		
PARÁMETRO FISICO QUIMICO	INCERTIDUMBRE	La incertidumbre expandida reportada está basada en una incertidumbre típica multiplicada por un factor de cobertura K=2, proporcionando un nivel de confianza de aproximadamente un 95%
PROTEINA	148,04% (%)	

Los resultados expresados arriba tienen validez solo para la muestra analizada en condiciones específicas no siendo extensivo a cualquier lote.

El laboratorio no se responsabiliza por la representatividad de la muestra respecto a su origen y sitio del cual fue tomado

Este informe no será reproducido, excepto en su totalidad con la aprobación del Director Técnico

• **Tiempo de almacenamiento de informes:** Cinco años a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

Atentamente,

Dra. Mayra Viqueza  
Director de Calidad  
Director Técnico (E)

16/01/22  
FECHA EMISION

Página 1 de 1

Tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio  
Muestras perecibles: 5 días calendario; Muestras no perecibles: 30 días calendario. Si desea repetición de algún parámetro, se debe generar una solicitud en el periodo estipulado.

Melchor Toaza N61-63 entre Av. del Maestro y Nazareth  
Telfs.: 248 3145 / 280 8849 / 247 6314 Telefax: 280 8825 www.seidlaboratory.com



SEIDLaboratory Cía. Ltda.

SERVICIO INTEGRAL DE LABORATORIO

laboratorio consultado por:  
American Association for Laboratory Accreditation



Certificado N° 2102-01/02



Servicio de  
Acreditación  
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE IC 05-001  
LABORATORIO DE ENSAYOS

LABORATORIO ACREDITADO BAJO NORMA ISO/IEC 17025

### INFORME DE ENSAYO NR. 107725

**TIPO MUESTRA:** Declarado por el cliente como: **QUINUA - LAVADO TRADICIONAL**

**CODIGO LABORATORIO:** 107725- 1  
**TIPO DE PRODUCTO:** QUINUA - LAVADO TRADICIONAL  
**CLIENTE:** DIANA CHINGAL  
**DIRECCION:** IBARRA

**CONDICION LLEGADA Y TIPO DE ENVASE:** ENVASE PLASTICO CON TAPA  
**NUMERO DE LOTE:** ND  
**FECHA RECEPCION:** 16/01/15  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 16/01/15  
**CONTENIDO DECLARADO:** ND  
**CONTENIDO ENCONTRADO:** 100 g  
**FECHA DE ELABORACION:** ND  
**FECHA DE CADUCIDAD:** ND

**CONDICIONES AMBIENTALES DE LLEGADA DE LA MUESTRA:** Temperatura 23 ° C

**FORMA DE CONSERVACION:** AMBIENTE

**MUESTREO:** ES RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE

ENSAYOS FISICO QUIMICOS	METODO	UNIDAD	RESULTADO
Proteína F=0,25	SEMM-FQ PROTEINA (AOAC 2001.11)	%	12,21

NS: No solicita el cliente / ND: No declara.

Datos tomados del cuaderno de FQ 91 Pág. 72B

INCERTIDUMBRE:		
PARAMETRO FISICO QUIMICO	INCERTIDUMBRE	La incertidumbre expandida reportada esta basada en una incertidumbre tipica multiplicada por un factor de cobertura K=2, proporcionando un nivel de confianza de aproximadamente un 95%
PROTEINA	L10,04% (%)	

Los resultados expresados arriba seran validos solo para la muestra analizada en condiciones especificas no siendo extensivo a cualquier lote.

El laboratorio no se responsabiliza por la representabilidad de la muestra respecto a su origen y sitio del cual fue tomado

Este informe no será reproducido, excepto en su totalidad con la aprobación del Director Técnico

• **Tiempo de almacenamiento de informes:** Cinco años a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

Atentamente,

Dra. Mayra Viqueza  
Director de Calidad  
Director Técnico (E)

16/01/22  
FECHA EMISION

Tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio

Página 1 de 1

Muestras perecibles: 8 días calendario; Muestras no perecibles: 30 días calendario. Si desea replicación de algún parámetro, se debe generar una solicitud en el periodo entregable.

Melchor Toaza N61-63 entre Av. del Maestro y Nazareth  
Telfs.: 248 3145 / 280 8849 / 247 6314 Telefax: 280 8825 www.seidlaboratory.com