



# **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.**

**Autora:**

Chingal Huaca Diana Karolina

**Director:**

Dr. Ramón Cala Aiello Ph.D

**Asesores:**

Ing. Jimmy Cuarán

Ing. Juan Carlos De la Vega

Ing. Luis Armando Manosalvas

**Ibarra – Ecuador**

**2016**

## HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR



**APELLIDOS:** Chingal Huaca.

**NOMBRES:** Diana Karolina.

**C. CIUDADANÍA:** 040164496-8

**EDAD:** 26 años.

**NACIONALIDAD:** Ecuatoriana

**ESTADO CIVIL:** Soltera

**TELÉFONO CONVENCIONAL:**

**TELÉFONO CELULAR:** 0980545677

**CORREO ELECTRÓNICO:** dkaro3@yahoo.es

**DIRECCIÓN:** Provincia: Carchi  
Ciudad: Tulcán  
Parroquia: Tulcán

**AÑO:** 2016

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Diana Karolina Chingal Huaca DESAPONIFICADO DE QUINUA *Chenopodium quinoa* DEL ECOTIPO CHIMBORAZO MEDIANTE LECHO FLUIDIZADO PULSANTE. TRABAJO DE GRADO, Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Ibarra 15 de diciembre de 2016.

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

La presente investigación tuvo como objetivo general desaponificar Quinoa *Chenopodium quinoa* mediante lecho fluidizado pulsante.

Para los análisis se utilizó la información recolectada durante la fase de diagnóstico, la cual dio lugar a observaciones y mejoras para la desaponificación de la quinoa, enfocándose principalmente en la eliminación de la saponina hasta los niveles requeridos para el consumo humano.

Ibarra, 15 de diciembre de 2016



Dr. Ramón Cala Aiello, PhD  
Director de Tesis



Diana Karolina Chingal Huaca  
Autor

## 1. 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 1 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  $196 \times 10^{-6}$  m, velocidad de flujo de aire 1.6 m/s, y frecuencia de pulso 150 pul/min) con un porcentaje de contenido de saponina de 0.10%. Los contenidos de proteína en la quinua desaponificada se encuentran por encima de los niveles mínimos establecidos en la norma INEN 1670.

Por lo tanto, se concluye que el desaponificado de quinua mediante lecho fluidizado pulsante no es del todo efectivo ya que el contenido de saponina del mejor tratamiento no se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma INEN para el consumo humano.

### Palabras claves

Saponinas, pulsaciones, quinua

### ABSTRACT

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 desaponification 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 reactor 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 desaponification are above the minimum levels established by INEN 1670 standard.

Therefore, it is concluded that the desaponification of quinoa Pulsed fluidized bed is not entirely effective since the saponin content of the best treatment is not within the range established by the INEN standard for human consumption.

### **Keywords**

Saponin, pulsations, quinoa.

## **2. INTRODUCCIÓN.**

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 muchas 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.

## **3. OBJETIVOS.**

### **3.1. OBJETIVO GENERAL.**

Desaponificar Quinua *Chenopodium quinoa* mediante lecho fluidizado pulsante.

### **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.

#### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

##### *Equipamiento experimental utilizado.*

Para el estudio experimental de desaponificado de quinua se utilizó un reactor cilíndrico en lecho fluidizado.

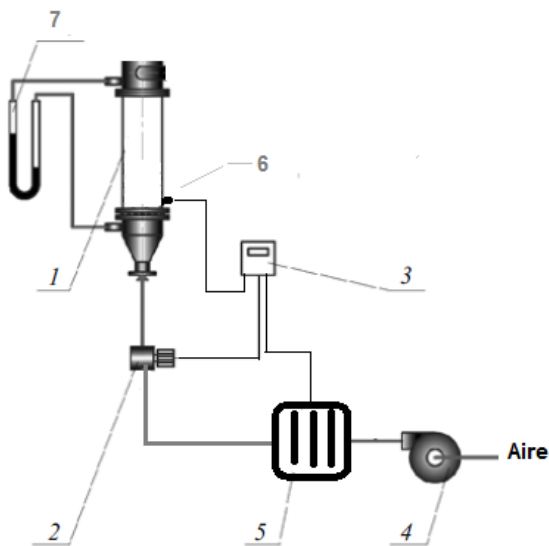


Fig.1. Instalación experimental

Donde:

- 1- Reactor de columna cilíndrica de acrílico transparente Sistema de calefacción
- 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.

El reactor está construido 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 y funciona con un flujo de aire a temperatura controlada,

El control de todos los parámetros medidos en el proceso, como son temperatura del lecho, humedad del grano, 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 inter fase con el reactor y su computador interno a través del Software LabVIEW(Lipták, 2013).

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 reactor y someterla al proceso de fluidización, sin obtener resultados alentadores.

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.

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.

Al final de todo este proceso se evaluaron 13 tratamientos, producto de la combinación de: rugosidad de las paredes del reactor(A), velocidad de flujo de aire(B), frecuencia de pulso(C) y como testigo el desaponificado tradicional

**Tabla 1.** 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 x10 <sup>-6</sup> m+ 0,8m/s + 0 pul/min
T2	A1B1C2	196 x10 <sup>-6</sup> m + 0,8m/s +100pul/min
T3	A1B1C3	196 x10 <sup>-6</sup> m +0,8 m/s +150pul/min
T4	A1B2C1	196 x10 <sup>-6</sup> m + 1,6m/s + 0 pul/min
T5	A1B2C2	196 x10 <sup>-6</sup> m +1,6 m/s +100pul/min
T6	A1B2C3	196 x10 <sup>-6</sup> m+1,6 m/s +150 pul/min
T7	A2B1C1	523x10 <sup>-6</sup> m + 0,8 m/s + 0 pul/min
T8	A2B1C2	523x10 <sup>-6</sup> m + 0,8 m/s + 100pul/min
T9	A2B1C3	523x10 <sup>-6</sup> m + 0,8 m/s + 150pul/min
10	A2B2C1	523x10 <sup>-6</sup> m + 1,6 m/s + 0 pul/min
T11	A2B2C2	523x10 <sup>-6</sup> m + 1,6 m/s + 100pul/min
T12	A2B2C3	523x10 <sup>-6</sup> m + 1,6 m/s + 150pul/min
T13	Testigo	Desaponificado tradicional

Cada unidad experimental tuvo un peso de 150g de quinua. Se procedió hacer circular el aire con valores de velocidad, rugosidad de las paredes del rector y frecuencia de pulso que se muestran en la tabla 1.

Se tomaron muestras de quinua transcurridas las dos horas del proceso para proceder a determinar el contenido de saponina de las mismas mediante el método espumoso que se establece en la norma INEN 1670

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Determinación del contenido de quinua de las muestras desaponificadas

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 2. Contenido de saponina expresado en porcentaje (%)

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

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.

### 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.

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

Tabla 3. Contenido de proteína en los mejores tratamientos

Parámetro analizado	Proteína
Unidad	%
Método de Ensayo	AOAC 2001.11
Muestra Inicial	12,61
T4 (196x10 <sup>-6</sup> + 1,6 m/s + 100pul/min)	12,23
T6 (196x10 <sup>-6</sup> + 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.



### **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.

### **Análisis Organoléptico.**

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.

## 6. 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.

## 7. 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.

## 8. REFERENCIAS

1. 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*.
- Alves, M. L., Ferreira, B. B., & Leta, F. R. (2011). Evaluación de parámetros de rugosidad usando análisis de imágenes de diferentes microscopios ópticos y electrónicos. *Información tecnológica*, 22(4), 129-146.
- Análisis Sectorial Quinua 2015. (2015). Ecuador.
- Anzaldúa Morales, A. (1991). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. *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 Quinua.
- Bazile, D. (2014). Estado del arte de la quinua 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 quinua en Ecuador.
- Corzo Barragán, D. C. (2011). Análisis y selección de diferentes métodos para eliminar las saponinas en dos variedades de *Chenopodium quinoa* Willd.
- Estrategia Fomento a la Producción de la Quinua en la Sierra Ecuatoriana. (2015). Retrieved from Ecuador:
- Fadhil, M., Aris, M. S., Abbas, A. H., Ibrahim, A. B. A., & Aniza, N. (2014). Minimum Air Fluidization Velocity Study of Specific 2-D Bubbling Fluidized Bed Reactor. *Applied Mechanics & Materials*, 699, 660-665. doi:10.4028/www.scientific.net/A MM.699.660
- 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.
- 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.
- Ibarrz, A. (2005). *Operaciones Unitarias en la Industria de Alimentos*. Mexico: Mundi-Prensa.
- Ibarz, A., & Ribas, A. I. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*: Mundi-Prensa Libros.
- 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.
- 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.
- Meyhuay. (2007). Quinoa: *Operaciones Postcosecha*.
- Mikhalev. (2010). *Predicting of minimum fluidization velocity of a binary density system using ressure fluctuation in a fluidized bed*. *Advances in Control*.
- 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.
- Ring, T. A. (2007). *Fluid Bed Reactors*.
- Rojas, W., Soto, J. L., Pinto, M., Jäger, M., & Padulosi, S. (2010). Granos Andinos Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. *Bioversity International, Roma, Italia*.
- Romero. (2006). *Introduccion a las Operaciones Unitarias*.
- Sanchez, F. (2013). *Proyecto de Factibilidad de Inversión Privada para la Instalacion de un semillero de Quinoa*. Retrieved from Lima-Perú:
- Valdez, L. I. C. (2008). Estudio experimental del secado de maiz precocido en un lecho fluidizado con aire operado en condiciones de vacio.
- Villacrés, E., Peralta, E., Egas, L., & Mazón, N. (2011). Potencial agroindustrial de la quinua. *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.