

Caracterización del superalimento peruano “*Chenopodium quinoa Willd*” mediante técnicas nucleares

R.L. Soto¹, O.M. Chumpitaz², J. Rojas³, J.C. Llópiz⁴, S. Szegedi⁵

(Recibido 31/08/2015 / Aceptado 19/10/2015)

RESUMEN

Se utiliza la fluorescencia de rayos X y el análisis por activación neutrónica para evaluar el contenido de nitrógeno en muestras de raíz, tallo, hojas, flores y granos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), tratada previamente con diferentes formas de adición de un fertilizante nitrogenado.

Palabras clave: Análisis por activación neutrónica, fluorescencia de rayos X, determinación de nitrógeno.

Characterization of Peruvian superfood “*Chenopodium quinoa Willd*” using nuclear techniques

ABSTRACT

By means of X-ray fluorescence and fast neutron activation analysis the nitrogen content has been determined in samples of roots, stems, leaf, flowers and grains from Quinoa (*Chenopodium quinoa willd*), which was previously treated with a nitrogen fertilizer.

Keywords: Neutron activation analysis, XRF, nitrogen determination, *Chenopodium quinoa willd*, nitrogen fertilizers.

1 Dpto. Académico de Física Nuclear, Atómica y Molecular. Facultad de Ciencias Físicas. UNMSN. Isoto1953@yahoo.com

2 Dpto. Química Orgánica. Facultad de Química e Ingeniería Química. UNMSM.

3 Dpto. Académico de Física del Estado Sólido. Facultad de Ciencias Físicas. UNMSN.

4 Instituto de Materiales y Reactivos. Universidad de la Habana. jcllopiz@imre.oc.uh.cu

5 Institute of Experimental Physics. Kossuth University. Debrecen, Hungary.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis por activación neutrónica (AAN) constituye una técnica nuclear analítica cuyas posibilidades de aplicación, en múltiples campos donde se requiere efectuar determinaciones multielementales de macro y micro elementos, ha sido reconocida por varios autores^[1, 2, 3, 4].

Derivado del incesante incremento de las necesidades nutricionales del hombre ^[5, 6, 7, 8, 9], cobra particular importancia la aplicación de la activación con neutrones rápidos como técnica complementaria e incluso sustitutiva de los difíciles y costosos análisis puramente químicos que se emplean con el propósito de determinar el contenido de nitrógeno, en muestras de biomasa y de suelos sometidos a diferentes regímenes de fertilización.

En el presente trabajo se reporta el contenido de nitrógeno, del que es función el valor proteico, para un total de 33 muestras tomadas de la raíz, tallo, hojas, panoja y granos de la planta denominada Quinoa, (*Chenopodium quinoa Willd*), la cual está sumamente difundida en la dieta de varios países andinos ^[10, 11, 12, 13], por lo que se justifica el estudio del esquema de fertilización más apropiado tomando en cuenta la sensibilidad y los niveles de retención particulares de dicha planta, ante el tratamiento con fertilizantes nitrogenados de los suelos donde se cultiva^[14, 15].

Para la consecución del objetivo anteriormente expresado se empleó el método absoluto y el relativo mediante el análisis por activación neutrónica^[16, 17, 18], propiciando la reacción $^{14}\text{N}(n,2n)^{13}\text{N}$, para la que se determinó el género de las posibles reacciones de interferencia, en atención al grupo de elementos específicos que coexisten con el elemento investigado, así como la influencia de las reacciones secundarias debido al proceso de retrodispersión de protones que tiene lugar cuando las muestras, monitores y sus cubiertas protectoras, se someten a la acción de grandes flujos neutrónicos.

II. MÉTODOS EXPERIMENTALES

Clasificación de las muestras

T-1, (primer esquema de fertilización), significa suelos tratados con 80 kg de N por hectárea al ser sembrada la planta, **T-2**, (segundo esquema de fertilización), representa el empleo de 40 kg de N en igual extensión, aplicados al momento de la siembra y nuevamente la misma cantidad, a los 60 días; **T-3**, es el control en el que no se utiliza fertilizante alguno^[19]. Para completar la clasificación, ya que la incorporación de los nutrientes a la planta está regida por procesos metabólicos y de absorción que cambian según su estadio de desarrollo, se introdujo la referencia al tiempo de crecimiento, floración y maduración del grano, para lo cual se realizaron los análisis a los 60, 75, 100 y 174 días, como aparece detallado en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las muestras estudiadas.

Parte de la planta	Esquema	1ra Época	2da Época	3ra Época	4ta Época
		60 días	75 días	100 días	174 días
Hoja	T-1	M-01	M-02	M-03	
Tallo	T-1	M-04	M-05	M-06	
Raíz	T-1	M-07	M-08	M-09	
Flor	T-1			M-19	
Grano	T-1				M-16
Hoja	T-2	M-10	M-11	M-12	
Tallo	T-2	M-13	M-14	M-15	
Raíz	T-2	M-20	M-21	M-22	
Flor	T-2			M-18	
Grano	T-2				M-17
Hoja	T-3	M-23	M-24	M-25	
Tallo	T-3	M-26	M-27	M-28	
Raíz	T-3	M-29	M-30	M-31	
Flor	T-3			M-32	
Grano	T-3				M-33

Las muestras fueron preparadas con el doble propósito de ser analizadas por el método de fluorescencia de rayos X con estándares internos, (FRX) y (AAN) con neutrones de 14 MeV^[2], por ello se confeccionaron con un diámetro de 20 mm, masa de 700 g, espesor entre 2,5 y 3 mm y se secaron a una temperatura de 80 °C durante dos horas.

Dado el carácter no destructivo de los métodos aplicados, se realizó el número requerido de mediciones para garantizar la fiabilidad estadística de los resultados dentro del 95% de intervalo de confianza.

Análisis cualitativo de las muestras

Se empleó el (FRX) para determinar las interferencias en la determinación de nitrógeno debido a la presencia de otros emisores positrónicos. Del anterior estudio se concluye la posibilidad de la interferencia debida a la reacción $^{39}\text{K}(n,2n)^{38}\text{K}$, la cual se caracteriza por tener una sección transversal de $\sigma = 4$ mb y emisión positrónica con período de semidesintegración de 462,60 s.

La concentración de potasio en las muestras estudiadas fue establecida mediante el método de las adiciones internas del compuesto estándar KH_2PO_4 , como se reporta ^[20, 21].

Desde el punto de vista cualitativo el (AAN) permite establecer la presencia de otros elementos o de ratificar aquellos que fueron encontrados mediante el uso de (FRX). Para esto se confeccionó un programa de análisis de las curvas de decaimiento con lo cual se concluyó que la única interferencia considerable está relacionada con la presencia de potasio y como en general las muestras de origen orgánico contienen fósforo, se decidió adoptar una tabla de tiempos para la irradiación (3600s), espera (1600s) y medición (600s), que permita el decaimiento de dicho elemento en caso de estar presente en cantidades capaces de alterar los resultados^[22, 23].

Irradiación y monitoreo del flujo neutrónico

El generador de neutrones utilizado se basa en la reacción nuclear $^3\text{T}(d,n)^4\text{He}$ usando un haz incidente de deuterones acelerados por medio de una diferencia de potencial de 120 kV. El blanco de 45 mm de diámetro, se compone de 25 Ci de tritio absorbido en titanio sobre una matriz de molibdeno directamente enfriada por agua.

Para propiciar una adecuada geometría de irradiación se construyó un portamuestras de aluminio, como se muestra esquemáticamente en la Figura 1.

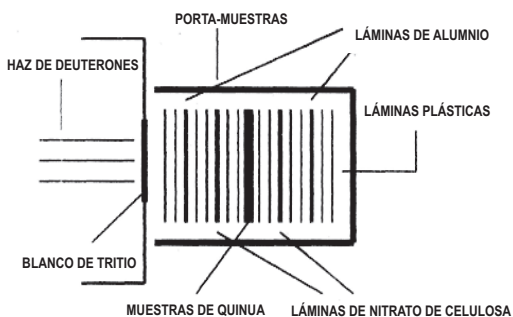


Figura 1. Representación esquemática del portamuestras utilizado para la irradiación de muestras de quinua.

Con el portamuestras utilizado se asegura el monitoreo del flujo neutrónico sobre la muestra mediante láminas de aluminio de 0,1 mm en las que se produce la reacción $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ y se evita el efecto de retroceso de los núcleos por medio de la técnica de láminas plásticas.

Para acotar la contribución de otros núcleos presentes en la composición orgánica de las muestras, se irradiaron en experimentos preliminares, delgadas láminas de polietileno, de igual masa que la de las muestras estudiadas con lo cual se estableció mediante el análisis espectrométrico gamma de rutina y programas de cálculo desarrollados para tales propósitos^[24, 25, 26, 27, 28, 29], el valor del área neta máxima producida por las reacciones secundarias $^{13}\text{C}(p,n)^{13}\text{N}$ y $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{N}$ durante tablas de tiempo iguales a las del experimento principal y que comprendió la irradiación durante 1 hora, tiempo de espera de 2 minutos y 5 minutos de medición.

Por último, las láminas de nitrato de celulosa fueron utilizadas como muestras patrones del elemento a determinar, las cuales siempre fueron caracterizadas mediante el método absoluto de medición.

Se aplicó la ecuación de activación para la determinación del contenido de nitrógeno en las muestras por el método absoluto, según:

$$M_N = \frac{14,0067 \ln(2) A_{N\text{CALC.}}}{\Lambda} \quad (1)$$

con

$$\Lambda = N_a(\phi) \sigma (1 - \exp(-\lambda t_i)) (\exp(-\lambda t_e)) (1 - \exp(-\lambda t_m)) E_p \Sigma_{sa} T_{1/2} \quad (1a)$$

donde:

M_N es la masa de nitrógeno, $\langle \phi \rangle$ es el flujo neutrónico promedio, σ es la sección transversal para la reacción cuyo valor es $7,3 \pm 0,1$ mb, t_m , t_i y t_e son los tiempos de medición, irradiación y espera respectivamente expresados en segundos, E_p es la fotoeficiencia para el pico de 511 KeV, Σ_{sa} es la auto absorción de la radiación en la muestra y $T_{1/2}$ es el período de semidesintegración del nitrógeno activado.

El área neta calculada se evalúa mediante:

$$A_{N\text{CALC.}} = A_{\text{EXP.}} - (A_K + A_{C,O,H} + A_{N-C} + A_B) \quad (2)$$

aquí:

$A_{\text{EXP.}}$ es el área neta medida experimentalmente, A_K es la contribución debida al potasio en las muestras, $A_{C,O,H}$ es la contribución debida a las reacciones secundarias, A_{N-C} es la contribución producto de las láminas de nitrato de celulosa y A_B es la contribución del fondo previamente estudiado para la banda correspondiente al pico de aniquilación.

El pico de aniquilación positrónica emitido por las muestras irradiadas fue medido con un detector de NaI(Tl) de diámetro 10 x 10 cm (resolución 9% para la energía de 661,646 KeV). Las muestras fueron puestas directamente sobre el detector y en todos los casos, excepto para los monitores de aluminio, se fijó la geometría de detección mediante una lámina de aluminio de 1 mm de espesor sobre el conjunto de la muestra y las láminas de nitrato de celulosa; el sistema de detección fue montado en condiciones de bajo fondo^[27]. las determinaciones del área neta se realizaron mediante un analizador multicanal Canberra serie 40.

Aunque la auto absorción de la radiación puede despreciarse para las láminas de nitrato de celulosa, en el caso de las muestras y los monitores se evaluó según:

$$\Sigma_{sa} = \frac{1 - \exp(-\mu d)}{\mu d} \quad (3)$$

Con μ el coeficiente de absorción, expresado en cm^2g^{-1} y d la masa por unidad de área de las muestras.

Aplicación del método relativo

Se caracterizaron los patrones para la aplicación del método relativo, (láminas de nitrato de celulosa), y se determinó que los mismos contenían $(9,03 \pm 0,35)$ % de nitrógeno, de esta manera, el contenido de nitrógeno en las muestras se calcula según:

$$M_N = \frac{2 E_{d=0} A_{N \text{ CALC.}}}{B^{**} E_{d=d'} \sum_{sa} \left(\frac{A_{N \text{ ST1}}}{B M_{N \text{ ST1}}} + \frac{A_{N \text{ ST2}}}{B' M_{N \text{ ST2}}} \right)} \quad (4)$$

donde $A_{N \text{ CALC.}}$ Se evalúa según (2); $A_{N \text{ ST1}}$ y $A_{N \text{ ST2}}$ se obtienen a partir de la determinación experimental del área neta de los patrones respectivos, mediante:

$$A_{N \text{ ST1,2}} = A_{N \text{ EXP.}} - (A_{C,O,H} + A_B) \quad (5)$$

Los términos B, B' y B'', se refieren al patrón 1, al 2 y a la muestra de planta respectivamente, y se calculan por medio de:

$$B = \exp \left(- \frac{\ln(2) T_C}{T_{1/2}} \right) \quad (6)$$

siendo T_C el tiempo de enfriamiento de cada patrón y de la muestra según sea el cálculo y $T_{1/2}$ el período de semidesintegración del nitrógeno en la reacción $^{14}\text{N}(n,2n)^{13}\text{N}$.

El cociente $E_{d=0}/E_{d=d'}$ se obtiene experimentalmente a partir del estudio del comportamiento de la eficiencia de detección para el pico de aniquilación positrónica del ^{22}Na el cual se establece en un experimento previamente realizado; aquí $d = d'$ representa el espesor de la muestra en estudio.

La evaluación de la interferencia que producen en la determinación del contenido de nitrógeno las reacciones secundarias producidas por protones de retroceso de altas energías, permite concluir que dicha contribución al área neta no es mayor que el 1,88%.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los resultados de la caracterización cualitativa de los elementos presentes en las muestras estudiadas, se pueden apreciar las siguientes regularidades:

Tratamiento T-1 (80 kg de N/Ha aplicado al momento de la siembra)

Para el follaje de la planta, independientemente de la época de crecimiento, los elementos K, Fe, Zn, Br y Sr siempre están presentes, mientras que la incorporación de cantidades detectables de Mo y V es función del proceso evolutivo de la planta y sólo aparecen en estadios avanzados de la misma.

Para el tallo de la planta se ratifican aquellos elementos encontrados en las hojas, pero es notable que para ningún estadio de crecimiento aparece el Mo, al menos dentro de la sensibilidad del método de detección utilizado.

La raíz evidencia un empobrecimiento de los elementos Zn y Br para la tercera época lo cual puede estar relacionado con la continua demanda de estos elementos por las partes en desarrollo de la planta y la incapacidad de absorción aparente de la misma a partir de estadios avanzados. A pesar de que el Vanadio siempre aparece en las muestras caracterizadas, no se observa relación directa de este elemento en tallos y hojas respecto de su presencia en la raíz de la planta.

En la etapa de floración (panoja), solo se identifican el K, Br y Sr, mientras que el grano se caracteriza por la ausencia de Sr, lo que hace pensar que este elemento permanece en estructuras biológicas relacionadas con el grano pero no en éste.

Tratamiento T-2 (40 kg de N/Ha aplicado al momento de la siembra y otros 40 kg a los 60 días de realizada la misma)

Las hojas muestran empobrecimiento de Fe y Zn en la primera época, así como ausencia total de los elementos Mo y V, dentro de los límites de detección del método de identificación cualitativa utilizado.

En el tallo, si bien aparece el Fe y el Zn en la primera época, ya no se hace significativa la presencia de estos elementos en etapas posteriores de crecimiento, lo cual presumiblemente se relaciona con el paso de los mismos a las hojas de la planta. Obsérvese,

además, que el Mo y el V nunca están presentes en las partes analizadas.

La raíz muestra todos los elementos detectados, pero el Vanadio sólo aparece en etapas posteriores de crecimiento.

Las flores muestran similar composición de los elementos predominantes en comparación con el tratamiento **T-1**, salvo por la presencia de Fe que no se observa para dicho esquema. El grano no parece tener cantidades significativas de Vanadio.

Tratamiento T-3 (ninguna fertilización)

No se aprecia incorporación alguna de Mo y V a las distintas partes de la planta para las diferentes épocas de crecimiento; por otra parte, el grano sólo muestra cantidades detectables de K.

De todo lo anterior, sabiendo que el fertilizante utilizado fue urea (80-0-0) al 46% de nitrógeno, administrada en cantidad equivalente a 174 kg/Ha, se observa que el tratamiento **T-2** parece no favorecer inicialmente la incorporación de Fe y Zn en la hoja ni influir en la presencia del Sr en la etapa terminal o grano. Cualquiera de los tratamientos utilizados introduce cambios respecto al testigo, **T-3**, en el grano, en lo que respecta al V, Zn ó Br, pero nunca estimulan la presencia del Sr, lo cual resulta un hecho positivo debido a la toxicidad del elemento mencionado^[30].

Como se muestra en el presente trabajo, el análisis por (FRX) no sólo brinda la posibilidad de la caracterización cualitativa de las posibles interferencias, sino que permite cuantificar la influencia sobre la determinación del área neta correspondiente al elemento buscado con errores experimentales inferiores al **10%**. La aplicación del método absoluto a través de la expresión (1), conlleva a un error sistemático en el cálculo de la masa de nitrógeno en las muestras, debido a que las funciones de excitación de los monitores de aluminio y del elemento a determinar no son idénticas.

La Tabla 3 establece la concentración de nitrógeno por el análisis químico de Coleman

para las muestras 16, 17 y 33, que corresponden **a la parte comestible de la planta (grano)**, lo cual permite la comparación entre este tipo de análisis y los empleados en el presente trabajo.

El análisis del comportamiento de la concentración de nitrógeno para cada época de crecimiento de la planta en función de los diferentes esquemas de fertilización aplicados brinda una idea aproximada acerca de la influencia de estos factores en la asimilación, retención y migración de este elemento por toda la planta. De aquí resulta que el esquema de fertilización más adecuado no es el que mayor cantidad de nitrógeno aporta al suelo al inicio, por el contrario, la utilización de un esquema de fertilización que incorpore al suelo los nutrientes necesarios, en diferentes estadios de crecimiento, redundará en una mayor proporción de nitrógeno en el grano y con ello en un mayor contenido proteico de éste, por consiguiente, el método y los resultados alcanzados pueden servir como referencia para estudios agrotécnicos avanzados.

De las Tablas 4 y 5, donde aparecen los resultados para ambos métodos, se concluye que la diferencia porcentual según uno u otro método oscila en el intervalo entre **0,42 y 8%**, a pesar de que en el presente trabajo no se realiza el estudio de la contribución a la activación de las muestras producto de la componente espectral de las energías menores de 14 MeV.

La contribución de las láminas plásticas al área neta experimental por causa de los materiales colorantes y otros elementos con el mismo esquema de desexcitación que el del ¹³N, es de **0,14%** del total, mientras que por causa de las reacciones secundarias es de esperar una contribución no mayor que **1,88**.

Mediante el análisis bromatológico ha sido establecido^[31], que el contenido proteico de las muestras de grano de la planta estudiada es de 14,80%; en la presente caracterización se obtienen los resultados que aparecen en la Tabla 6.

Tabla 3. Comparación de los resultados obtenidos mediante el empleo de la activación neutrónica y el procedimiento químico de Coleman.

Muestra	Esquema de fertilización	Método absoluto % N	Error %	Método relativo % N	Error %	Método químico de Coleman	Error %
16	T-1	1,85	0,32	2,11	0,32	2,22	0,20
17	T-2	2,24	0,39	2,73	0,43	2,70	0,20
33	T-3 control	1,95	0,33	2,04	0,30	1,99	0,20

Tabla 4. Determinación del contenido de N método Absoluto.

Muestra	Parte	MN (mg)	Error (mg)	Muestra	Parte	MN (mg)	Error (mg)
01 T-1	Hoja	35,1	5,86	18 T-2	Flor	24,61	4,11
02 T-1	Hoja	38,4	6,39	19 T-1	Flor	20,38	3,40
03 T-1	Hoja	31,4	5,23	20 T-2	Raíz	19,51	3,27
04 T-1	Tallo	38,5	6,41	21 T-2	Raíz	15,43	5,58
05 T-1	Tallo	39,0	6,49	22 T-2	Raíz	10,24	1,71
06 T-1	Tallo	13,2	2,22	23 T-3	Hoja	38,31	6,38
07 T-1	Raíz	20,0	3,32	24 T-3	Hoja	24,28	4,06
08 T-1	Raíz	15,5	2,58	25 T-3	Hoja	23,12	3,86
09 T-1	Raíz	10,6	1,78	26 T-3	Tallo	34,99	5,83
10 T-2	Hoja	41,5	6,90	27 T-3	Tallo	25,98	4,34
11 T-2	Hoja	41,0	6,82	28 T-3	Tallo	9,58	1,63
12 T-2	Hoja	32,2	5,36	29 T-3	Raíz	19,99	3,36
13 T-2	Tallo	30,8	5,13	30 T-3	Raíz	13,96	2,34
14 T-2	Tallo	32,6	5,43	31 T-3	Raíz	9,75	1,66
15 T-2	Tallo	10,4	1,75	32 T-3	Flor	23,96	3,99
16 T-1	Grano	12,9	2,23	33 T-3	Grano	13,60	2,30
17 T-2	Grano	15,2	2,64				

Tabla 5. Determinación del contenido de N. Método relativo.

Muestra	Parte	Mn (mg)	Error (mg)	Mn (%)	Muestra	Parte	Mn (mg)	Error (mg)	Mn (%)
01 T-1	Hoja	36,2	5,33	5,61	18 T-2	Flor	25,27	3,70	4,23
02 T-1	Hoja	38,2	5,37	5,83	19 T-1	Flor	21,40	3,06	2,96
03 T-1	Hoja	31,5	4,59	4,79	20 T-2	Raíz	19,59	2,76	2,94
04 T-1	Tallo	37,9	5,44	5,72	21 T-2	Raíz	16,29	2,35	2,37
05 T-1	Tallo	39,9	5,80	5,95	22 T-2	Raíz	9,85	1,42	1,52
06 T-1	Tallo	12,5	1,77	1,83	23 T-3	Hoja	36,57	5,25	5,30
07 T-1	Raíz	20,0	3,85	3,11	24 T-3	Hoja	23,60	3,41	3,89
08 T-1	Raíz	15,2	2,17	2,40	25 T-3	Hoja	21,92	3,13	3,52
09 T-1	Raíz	10,8	1,55	1,57	26 T-3	Tallo	35,52	5,12	5,37
10 T-2	Hoja	41,0	5,83	6,01	27 T-3	Tallo	24,46	3,50	3,92
11 T-2	Hoja	38,9	5,57	5,73	28 T-3	Tallo	9,74	1,42	1,56
12 T-2	Hoja	31,8	4,62	4,88	29 T-3	Raíz	18,97	2,73	2,67
13 T-2	Tallo	32,7	4,72	5,51	30 T-3	Raíz	12,74	1,86	2,12
14 T-2	Tallo	33,3	4,74	5,33	31 T-3	Raíz	9,90	1,47	1,53
15 T-2	Tallo	11,1	1,62	2,58	32 T-3	Flor	23,34	3,39	3,67
16 T-1	Grano	13,1	2,00	2,11	33 T-3	Grano	12,71	1,86	2,04
17 T-2	Grano	16,5	2,62	2,73					

Tabla 6. Contenido proteico de los granos a partir de los resultados obtenidos mediante el análisis por activación neutrónica.

Muestra	Esquema de fertilización	Contenido proteico (%)	Error (%)
16	T-1	13,29	0,32
17	T-2	17,18	0,43
33	T-3 control	12,85	0,30

Como se muestra en este trabajo, la (FRX) y en particular el método de los patrones internos, permite complementar al (AAN) en la determinación del contenido de nitrógeno, con el propósito de caracterizar el valor nutricional de la quinua, la cual ocupa un lugar prominente en la dieta alimenticia de varios países [32,33,34,35]. El procedimiento descrito constituye una metodología totalmente reproducible y los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos pueden servir como base para estudios agrotécnicos relacionados con la planta analizada, así como para otros cultivos de interés.

IV. CONCLUSIONES

Como se muestra en el presente trabajo, el análisis por fluorescencia de rayos X, y en particular el método de los patrones internos, permite complementar al análisis por activación neutrónica en la determinación del contenido de nitrógeno, con el propósito de caracterizar el valor nutricional de la Quinua, la cual ocupa un lugar prominente en la dieta alimenticia de varios países andinos.

Tanto el método absoluto de determinación de nitrógeno, como el relativo, son aceptables, dentro de los límites de las incertidum-

bres inherentes, tomando como referencia de comparación los resultados que se obtienen mediante el análisis químico de las muestras del grano de la planta estudiada.

El procedimiento descrito constituye una metódica totalmente reproducible y los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos pueden servir comobase para estudios agrotécnicos relacionados con la planta analizada, así como para otros cultivos de interés.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dejar constancia explícita de su agradecimiento a la Comisión Boliviana de Energía Nuclear, quien suministró las muestras, a la Academia de Ciencias de Hungría por posibilitar el uso del equipamiento involucrado, a la Comisión Internacional de Energía Atómica por el auspicio global del Proyecto de Investigación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nargalwalla S., Przyblowicz B. Activation Analysis with Neutron Generators. New York: J. Willey and Sons;1973.
2. De Soete D. et. al. Neutron Activation Analysis. New York :J. Willey and Son;1972.
3. Ehmann W., Vance D. Radiochemistry and Nuclear Methods of Analysis, vol.116 of Chemical Analysis: A Series of Monographs in Analytical Chemistry and Its Applications. New York: John Wiley & Sons; 1990.
4. Witkowska E., Szczepaniak K., Biziuk M. "Some applications of neutron activation analysis: a review". Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry. 2005; 265(1):141–150.
5. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Inseguridad Alimentaria. La población se ve obligada a convivir con el hambre y teme morir de inanición. El estado de la Inseguridad Alimentaria en el mundo. Roma: FAO;2001.
6. Figueroa D. Seguridad alimentaria y nutricional. Determinantes y vías para su mejora. Revista de la Facultad de Salud Pública y Nutrición. Enero- Marzo 2005; 6(1).
7. De Muro P., Burchi F. Education for Rural People and Food Security. A Cross Country Analysis. Roma: FAO;2007.
8. Gómez J., Picazo A., Reig E. Agricultura, desarrollo rural y sostenibilidad medioambiental, Revista CIRIEC-España. 2008; 61: 103-126.
9. Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe. Hambre en América Latina y el Caribe: acercándose a los Objetivos del Milenio. FAO; 2012.
10. Vega L., Miranda M., Vergara J., Uribe E., Martinez E. Nutrition facts and functional potential of quinoa (Chenopodium quinoa willd.), an ancient Andean grain: a review. J Sci Food Agric. 2010.
11. Todo sobre la Quinoa. [Consultado: 13 de septiembre 2009]. Disponible en <http://laquinoa.blogspot.com>.
12. Sven-Erik J. The Worldwide Potential for Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Food Reviews International. 2003; 19(1&2): 167–177.
13. Bioversity International. Nota Conceptual. Quinoa. Celebrando el Año Internacional de la Quinoa: Un Futuro Sembrado hace Miles de Años; 2012.
14. Nishikawa J. Manual de Nutrición y fertilización de la Quinoa. 1ra Edición. FUNART; 2012.
15. Cultivo de la Quinoa Orgánica. (Chenopodium quinoa Willd). El grano dorado tesoro de los Quechuas y Aymaras. Sociedad Española de Productos Húmicos. 2010: (051).

16. Hassan A. Modern trends in neutron activation analysis. Applications to some African environmental samples. Proceedings of the 3rd Environmental Physics Conference. 19-23 Feb 2008: 27-40.
17. De Bièvre P., Günzler H. Traceability in Chemical Measurement. Springer; 2005.
18. Zinovyev V., Martynov V., Loginov E., Korotkih E., Shulyak G., Tukavina T., Sushkov P. Absolute Neutron Activation Analysis Technique of a Large Crude Oil Sample. World Journal of Nuclear Science and Technology. 2013; 3(4): 6-7.
19. Thanapornpoonpong S., Vearaslip S., Pawelzik E., Gorinstein S. Influence of various nitrogen applications on protein and amino acid profiles of amaranth and quinoa. J. Agric. Food Chem. 2008; 56:11464–11470.
20. Soto R., Szegedi S. J. Radioanal. Nucl. Chem. 1985; Letters 96 /2/. 69-78.
21. Soto, R., Szegedi S., Llópiz J. Aplicación del análisis por activación neutrónica y la fluorescencia de rayos X en el estudio de la composición elemental de Chenopodium Quinoa Willd. CIEN-R-7; 1996.
22. Soto R., Szegedi S., Llópiz J. Uso y mejoramiento del análisis por activación neutrónica (método absoluto) para el estudio del contenido de nitrógeno en muestras vegetales. CIEN-R-8; 1996.
23. Soto R., Szegedi S., Llópiz J. Validación del análisis por activación neutrónica (método absoluto) para el estudio del contenido de nitrógeno en muestras de quinua. Revista Cubana de Química. 2010; XXII(2): 72-75.
24. Hernández M., Marín E., Soto R. Diseño y caracterización de una interfaz para la adquisición de espectros de radiación gamma. Revista Cubana de Física. 1991; XI (2-3).
25. Soto R., Marín E., Hernández M. Algunos aspectos sobre el incremento de tareas y habilidades en el Laboratorio de Física Cuántica. Revista Cubana de Física. 1991; XI(2-3).
26. Marín E., Hernández M., Soto R. Programa MSX-Basic para el análisis de espectros de radiación gamma. Revista Cubana de Física. 1992; XII(2).
27. Soto R., Marín E., Hernández M. Programa MSX-Basic para el procesamiento automático de espectros de radiación gamma. Revista Cubana de Física. 1992; XII (2).
28. Soto R. Diseño, construcción y puesta a punto de una cámara de bajo fondo. [Tesis Dr. en Ciencias Físicas]. Universidad de la Habana. Cuba; 1994.
29. Liyu W. WINSPAN. A Multi-Purpose Gamma-Ray Spectrum Analysis Software. CIAE. Beijing; CIAE; 2004.
30. Parengam M. Study of nutrients and toxic minerals in rice and legume by instrumental neutron activation analysis (INAA) and atomic absorption spectrophotometry (AAS). [M. Sc. Thesis]. Mahidol University. Thailand; 2008.
31. Tapia M. et al. Quinua y Kañiwa cultivos andinos. Bogotá: Editorial IICA; 2008.
32. Mujica A. et al. Investigaciones agroindustriales de quinua y Cañihua. Puno; 2003.
33. Montoya, M. Tecnología Nuclear en el Perú. Trujillo : CEPRECYT; 2005.
34. De la Cruz E., García J. M. Mejoramiento de Pseudocereales en el ININ. Rev. Contacto Nuclear. 2008: 35-40.
35. Programme 2.1 Food and Agriculture. IAEA Technical Working Group; 2007