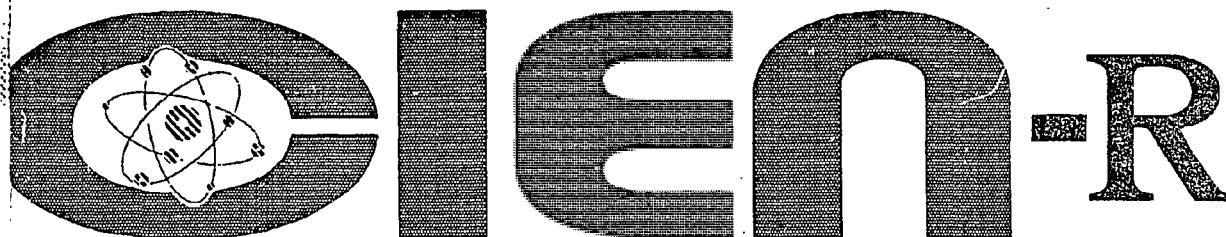


CV 9600345

7 36



APLICACION DEL ANALISIS POR ACTIVACION NEUTRONICA  
Y LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN EL ESTUDIO DE LA  
COMPOSICION ELEMENTAL DE CHENOPODIUM QUINOA WILLD

STUDY OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF CHENOPODIUM  
QUINOA WILLD BY FAST NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS  
AND X RAY FLUORESCENCE ANALYSIS

Soto Morán, Ramon L. \*: Sandor Szegedi \*\*:  
Julio C. Llopiz \*\*\*

\* Universidad de La Habana. Departamento de  
Fisica General, Facultad de Fisica. La Habana  
Cuba

\*\* Kossuth University, Institute of Experimental  
Physics. Debrecen. Hungary

\*\*\* Universidad de la Habana. Instituto de  
Materiales y Reactivos. La Habana, Cuba.

Ciudad de la Habana

CUBA

APLICACION DEL ANALISIS POR ACTIVACION NEUTRONICA Y LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN EL ESTUDIO DE LA COMPOSICION ELEMENTAL DE CHENOPODIUM QUINOA WILLD.

STUDY OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF CHENOPODIUM QUINOA WILLD BY FAST NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS AND X RAY FLUORESCENCE ANALYSIS.

AUTORES: Ramón L. Soto Morán.

Dpto: Física General. Facultad de Física. Universidad de la Habana.

Sandor Szegedi.

Institute of Experimental Physics. L. Kossuth University .Debrecen. Hungary.

Julio C. LLópez Yurell.

Instituto de Materiales y Reactivos. Universidad de la Habana.

Ciudad de la Habana, Cuba.

SUBJECT CATEGORIES: B 11.10

KEYWORDS: NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS: M1; X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS, NEUTRON GENERATORS, NITROGEN, POTASSIUM, CHEMICAL ANALYSIS, CHENOPODIACEAE: Q1.

## APLICACION DEL ANALISIS POR ACTIVACION NEUTRONICA Y LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN EL ESTUDIO DE LA COMPOSICION ELEMENTAL DE CHENOPODIUM QUINOA WILLD.

### 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 Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*), tratada previamente con diferentes formas de adición de un fertilizante nitrogenado.

### 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 nitrogenated fertilizer.

### INTRODUCCION:

La técnica de determinación multielemental basada en el análisis por activación neutrónica ha sido reconocida por varios autores [1-3], por constituir un procedimiento analítico nuclear rápido, sensible y no destructivo que permite la cuantificación de macro y microelementos.

Producto del notable incremento de las necesidades nutricionales del hombre [4], asociado a la explosión demográfica mundial y a la falta de disponibilidades alimentarias en muchas regiones, cobra particular importancia la aplicación de la activación con neutrones rápidos como técnica complementaria [5], e incluso sustitutiva de los difíciles y costosos análisis puramente químicos que se emplean rutinariamente con el propósito de determinar el contenido de nitrógeno [6-7], en muestras de biomasa y de suelos sometidos a diferentes regímenes de fertilización.

En el presente trabajo se reporta el contenido de nitrógeno, el cual se relaciona directamente con el valor protéico, 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 alimenticia de varios países andinos y para la que hasta el momento no se ha reportado el estudio del esquema de fertilización más económico, 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.

Se empleó comparativamente el método absoluto y el relativo mediante la reacción  $^{14}\text{N}(n,2n)^{13}\text{N}$ , se determinó en forma cualitativa y cuantitativa, las posibles reacciones interferenciales, en aten-

ción al grupo de elementos específicos que coexisten con el elemento investigado en la muestra, y se estableció 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.

## DESARROLLO:

### I. Clasificación de las muestras.

Las muestras fueron clasificadas según el sistema de fertilización adoptado, es decir, T-1, (primer esquema de fertilización), significa que los suelos fueron 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 testigo de comparación en el que no se utiliza fertilizante alguno. Para completar la clasificación, teniendo en cuenta que la incorporación de los nutrientes a la planta está regida por los procesos metabólicos y de absorción que cambian según su estadio de desarrollo, se introdujo la referencia al tiempo (época) de crecimiento, floración y maduración del grano, para lo cual es suficiente realizar los análisis con muestras tomadas a los 60, 75, 100 y 174 días, como aparece detallado en la Tabla I.

Las muestras se confeccionaron con un diámetro de 20 mm, masa de 700 g, espesor entre 2,5 y 3 mm y se les impuso un proceso de secado a una temperatura de 80 °C durante dos horas.

### II. Análisis cualitativo de las muestras.

Se empleó el análisis por fluorescencia de rayos X (método de los standars internos para determinar las interferencias en el contenido de nitrógeno debido existencia de otros emisores positrónicos. El resultado de este estudio se recoge en la Tabla II. Se concluye de inmediato la interferencia en la determinación del contenido de nitrógeno producto de la reacción  $^{39}\text{K}(n,2n)^{38}\text{K}$

### III. Caracterización de la interferencia originada por la presencia del potasio en las muestras.

La concentración de potasio fue establecida mediante el método de las adiciones internas del compuesto standard  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , como se reporta en [8] y se detalla en [9].

### IV. Estudio de las muestras mediante el análisis por activación neutrónica.

Desde el punto de vista cualitativo la técnica mencionada da la posibilidad de establecer la presencia de otros elementos o de ratificar aquellos que fueron encontrados mediante el uso de la fluorescencia de rayos X. Para esto se confeccionó un programa de análisis de las curvas de decaimiento con lo cual se reafirmó el criterio de que la única interferencia considerable está relacionada con la presencia de potasio, no obstante, teniendo en cuenta que por pequeña que sea la proporción, en general siempre está presente el elemento fósforo en muestras de origen orgánico, se decidió adoptar una tabla de tiempos para la irradiación (3600s), espera (1600s) y medición (600s), que permitiera el decaimiento de dicho elemento en caso de estar presente en cantidades capaces de alterar los resultados.

### V Irradiación y monitoreo del flujo neutrónico.

Para propiciar una adecuada geometría de irradiación se construyó un porta-muestras de aluminio, como se muestra en la Fig. 1, capaz de asegurar el monitoreo del flujo neutrónico sobre la muestra mediante láminas de aluminio de 0,1 mm en las que se produce la reacción  $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ , utilizándose el pico correspondiente los 843,7 KeV. Como se muestra en la propia figura, para

evitar el efecto de retroceso de los núcleos que tiende a contaminar la superficie de la muestra y a propiciar el efecto de evaporación de núcleos sometidos a altos flujos neutrónicos, se utilizó la técnica de láminas plásticas, previamente estudiadas para evaluar su posible contribución al pico de 511 KeV de la reacción nuclear empleada en la determinación cuantitativa del nitrógeno en las muestras de planta.

### GEOMETRIA PARA LA IRRADIACION DE LAS MUESTRAS

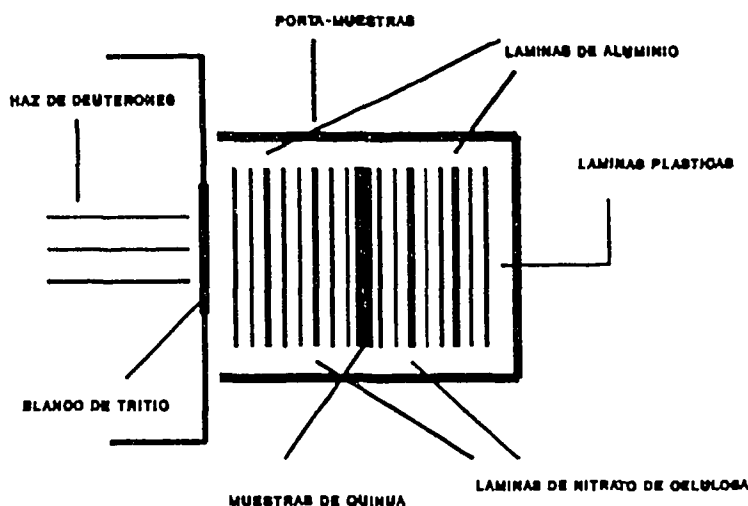


Fig. 1

Fig. 1 Representación esquemática del portamuestras utilizado para la irradiación de muestras de Quinua.

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 [10-15], 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.

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.

Tomando en cuenta las anteriores consideraciones se aplicó la ecuación de activación para la determinación del contenido de nitrógeno en las muestras por el método absoluto, así:

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

con

$$\Lambda \cdot N_a \langle \phi \rangle \sigma (1 - \exp(-\lambda t)) (\exp(-\lambda t)) (1 - \exp(-\lambda t_m)) E_p \Sigma_{aa} T_{1/2} \quad (1a)$$

y donde:  $M_N$  es la masa de nitrógeno en cada muestra,  $\langle \phi \rangle$  es el flujo promedio medido a través de las láminas de aluminio irradiadas simultáneamente,  $\sigma$  es la sección transversal para la reacción,  $t_m$ ,  $t_i$  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,  $\Sigma_{aa}$  es la autoabsorción de la radiación en la muestra y  $T_{1/2}$  es el periodo de semi-desintegración del nitrógeno activado.

El área neta calculada se evalúa según:

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

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,  $A_{NC}$  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.

#### VI. Determinación de la actividad inducida en las muestras irradiadas.

Las muestras fueron puestas directamente sobre un detector de centelleo de 10 x 10 cm 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 [16], las determinaciones del área neta se realizaron mediante un analizador multicanal Canberra serie 40.

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

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

con  $\mu$  el coeficiente de absorción, expresado en  $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$  y  $d$  la masa por unidad de área de las muestras.

La Tabla III muestra los resultados de la aplicación del método absoluto de cálculo del contenido de nitrógeno en las muestras estudiadas.

#### VII. 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  $(9,03 \pm 1,35) \%$  de nitrógeno, de esta manera, el contenido de nitrógeno en las muestras se calcula según:

$$M_N = \frac{2 E_{50} A_{N \text{ CALC.}}}{B \cdot E_{50} \cdot \Sigma_{aa} \left( \frac{A_{N \text{ ST1}}}{B \cdot M_{N \text{ ST1}}} + \frac{A_{N \text{ ST2}}}{B \cdot M_{N \text{ ST2}}} \right)} \quad (4)$$

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 experi-

mental del área neta de los patrones respectivos, mediante:

$$A_{N\text{STI2}} = A_{N\text{EXP}} - (A_{\text{COH}} \cdot A_B) \quad (5)$$

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

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

siendo  $T_C$  el tiempo de enfriamiento de cada patrón y de la muestra según sea el cálculo y  $T_{1/2}$  es el periodo de semi-desintegración 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  $^{22}\text{Na}$  el cual se establece en un experimento previamente realizado; aquí  $d = d'$  representa el espesor de la muestra en estudio.

La Tabla IV muestra los resultados de la aplicación del método relativo para la determinación del contenido de nitrógeno en las muestras analizadas.

#### VIII. Reacciones secundarias.

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%

#### IX. Discusión de los resultados.

A partir de los elementos que aporta la Tabla II, se pueden apreciar las siguientes regularidades:

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

A.- Para el follaje de la planta se evidencia que 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.

B.- 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.

C.- 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.

D.- En la etapa de floración (panoja), sólo se identifican el K, Br y Sr, mientras que el grano, (parte comestible) 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):

A.- Las hojas de la planta, ante el esquema de fertilización descrito, 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.

B.- 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.

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

D.- Las flores en este esquema de fertilización 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, y en el conocimiento de que el fertilizante utilizado resultó ser 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.

Cualesquiera de los tratamientos utilizados introducen cambios respecto al testigo, T-3, en el grano o parte comestible, 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.

Como se muestra en el presente trabajo, el análisis por fluorescencia de rayos X 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 capacidad de identificación de la técnica mencionada puede incrementarse utilizando montajes de excitación indirecta que amplíen los intervalos de interés del número atómico en función del tipo de muestra utilizada.

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, sin embargo, de las Tablas III y IV 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.

El estudio y optimización de la geometría de irradiación, tanto para el método absoluto como para el relativo, demanda la utilización de láminas plásticas que evitan la contaminación de patrones y muestras debido a los monitores y al porta-muestra, sin embargo, dichas láminas pueden contribuir a la determinación del área neta experimental por causa de los materiales colorantes y otros elementos con el mismo esquema de desexcitación que el del  $^{14}\text{N}$ , por tal razón, se evaluó dicha influencia, para cada muestra, en función del flujo neutrónico al que fue sometida, concluyéndose que no es superior esta contribución al 0,14% del total, mientras que por causa de las reacciones secundarias es de esperar una contribución no mayor que 1,88%.

Con el objeto de disponer de resultados de control, se determinó 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); la comparación entre este tipo de análisis y los empleados en el presente trabajo se resumen en la Tabla V. Es inmediato que, dada la reconocida exactitud del método químico empleado, tomando en cuenta los errores calculados, el procedimiento descrito constituye una metodología totalmente reproducible, cuando se desea caracterizar el contenido de nitrógeno en muestras de origen vegetal, obviando las dificultades que entrañan los métodos cuyo origen es eminentemente químico, en lo que respecta al tiempo requerido para los análisis así como



al carácter destructivo de los mismos.

Las Figs. 2, 3, 4, 5, y 6 establecen el estudio descriptivo del comportamiento de la concentración de nitrógeno para cada época de crecimiento de la planta en función de los diferentes esquemas de fertilización aplicados y con ello se brinda una idea aproximada acerca de la influencia de estos factores en la asimilación, retención y migración de este elemento por toda la planta. Por otra parte, se hace evidente 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, redunda en una mayor proporción de nitrógeno en el grano y con ello en un mayor contenido protéico de éste, por consiguiente, el método y los resultados alcanzados pueden servir como referencia para estudios agro-técnicos avanzados.

### CONTENIDO DE N Y K EN LA RAIZ

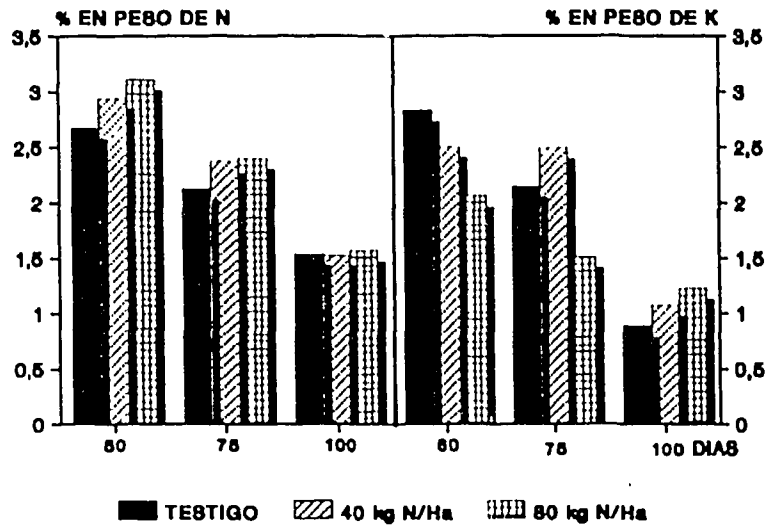


Fig. 2

Fig. 2 Contenido de nitrógeno en muestras de la raíz de la planta estudiada en función del esquema de fertilización y del tiempo de crecimiento de la misma.

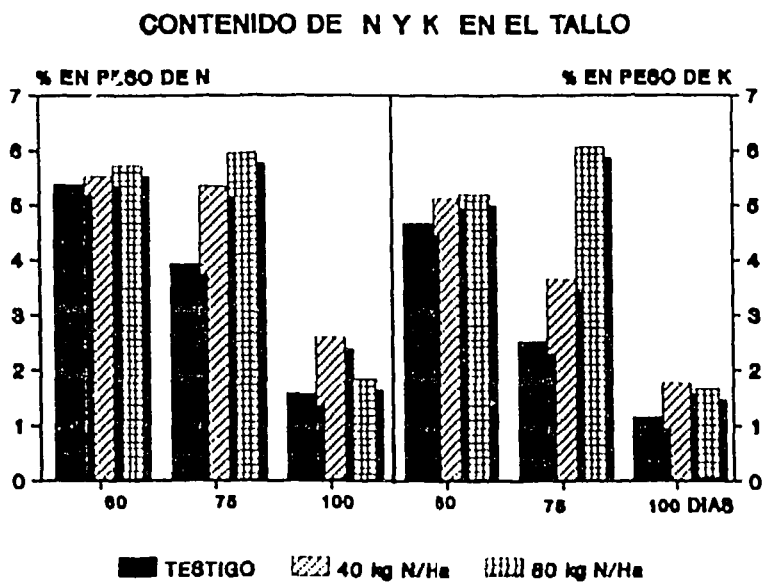


Fig. 3

Fig. 3 Contenido de nitrógeno en muestras del tallo de la planta estudiada en función del esquema de fertilización y del tiempo de crecimiento de la misma.

### CONTENIDO DE N Y K EN LA HOJA

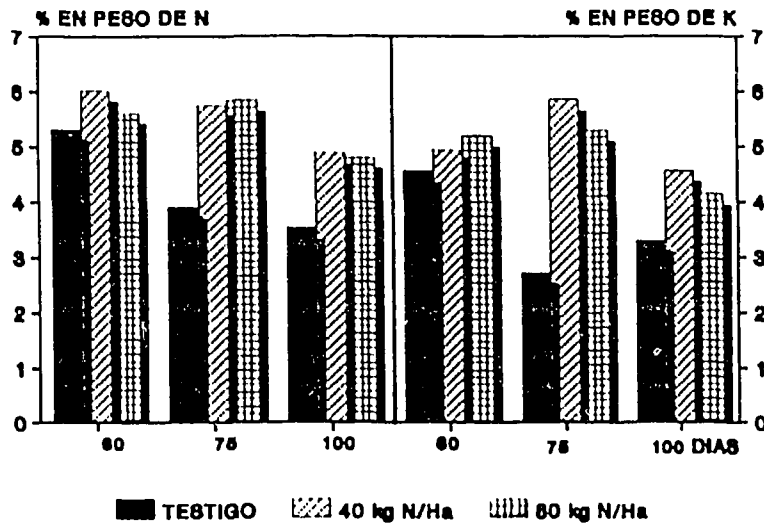


Fig. 4

Fig. 4 Contenido de nitrógeno en muestras de la hoja de la planta estudiada en función del esquema de fertilización y del tiempo de crecimiento de la misma. Obsérvese que cualquiera sea el esquema de fertilización siempre se incrementa el contenido del elemento investigado en la parte analizada.

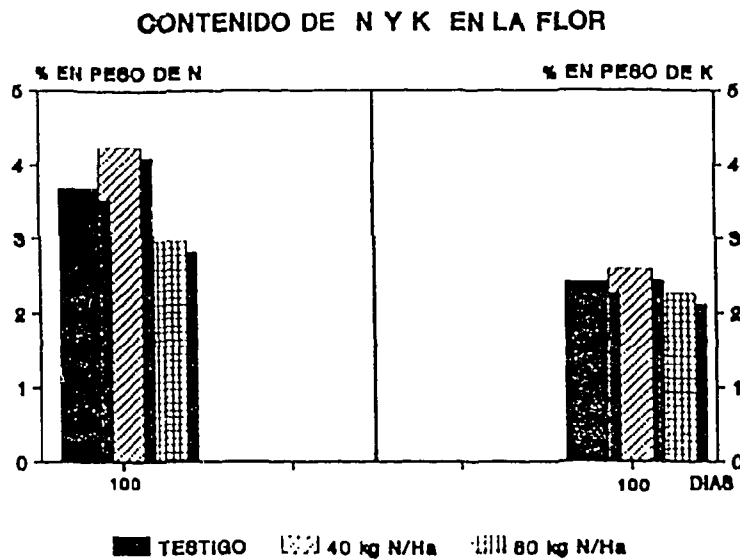


Fig. 5

Fig. 5 Contenido de nitrógeno en muestras de la flor de la planta estudiada en función del esquema de fertilización y del tiempo de crecimiento de la misma. Obsérvese que el esquema más favorable parece ser el de 40 kg de nitrógeno por hectárea.

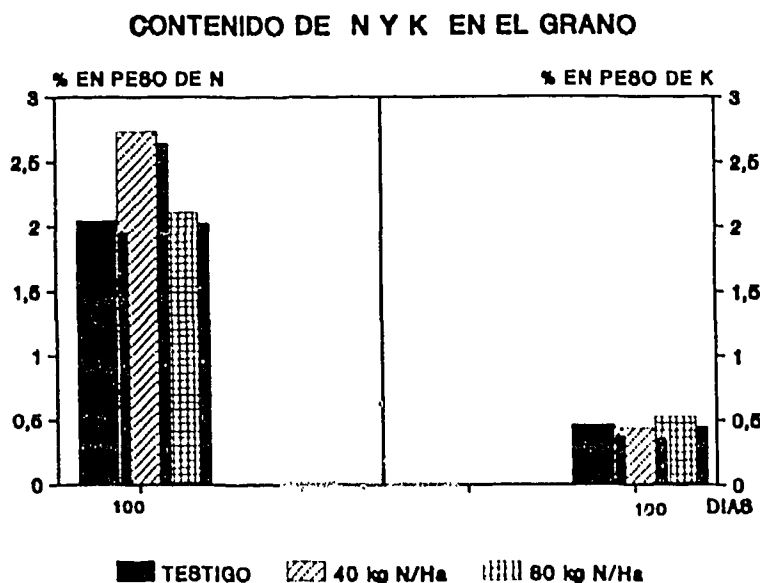


Fig. 6

Fig. 6 Contenido de nitrógeno en muestras del grano de la planta estudiada en función del esquema de fertilización y del tiempo de crecimiento de la misma. Obsérvese que siendo esta parte la fundamental en la dieta alimenticia, no se logran incrementos significativos de su contenido protéico con el esquema de fertilización de 80 kg de nitrógeno por hectárea.

Mediante el análisis bromatológico comparativo ha sido establecido que el contenido protéico de las muestras de grano de la planta estudiada es de 14,80%; en la presente caracterización y de acuerdo con [17], se obtienen los resultados que aparecen en la Tabla VI.

#### 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 Quinoa, 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 error 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 un método 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

## 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.

## BIBLIOGRAFIA:

- [1] S. Nargalwalla and B. Przyblowicz. Activation Analysis with Neutron Generators. J. Willey and Sons. N.Y. (1973).
- [2] P. Kruger. Principles of Activation Analysis. J. Willey and Sons. N.Y. (1971).
- [3] D. De Soete et al. Neutron Activation Analysis. J. Willey and Sons. N.Y. (1972).
- [4] G. Pethes. Technical Report Series No. 197 (1980).
- [5] L. Kosta and V. Ravnik. Proceeding of a Panel on New Approaches to Breeding for Improved Plant Protein. IAEA. (1969).
- [6] A. Travesi and Y. Lee. Proceeding of Int. Conf. on Modern Trends in Activation Analysis. College Station. Texas. (1982).
- [7] A. Fravret et al. Proceeding of a Panel on New Approaches to Breeding for Improved Plant Protein. IAEA. (1980).
- [8] R. Soto and S. Szegedi. J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters 96 /2/ 69-78 (1985).
- [9] R. Soto and S. Szegedi. Determinación de la Concentración de Potasio en Muestras Orgánicas mediante el Análisis por Fluorescencia de Rayos X. Revista Cubana de Física. Vol. XIII. No. 3 (1993).
- [10] R. Soto et al. Algoritmo de Cálculo para la Calibración Teórica en Eficiencias Intrínsecas con Fuentes Puntuales y Detectores de Centelleo. (Rep. int.).
- [11] R. Soto et al. Calibración Teórico-Experimental en Fotoeficiencias para un Detector de Centelleo de NaI(Tl) utilizando Fuentes Puntuales. (Rep. int.).
- [12] R. Soto et al. Calibración Teórico-Experimental en Fotoeficiencias para un Espectrómetro con Cristal de NaI(Tl) utilizando Fuentes de Disco. (Rep. int.).
- [13] R. Soto, E. Marín y M. Hernández. Programa MSX-Basic para el Procesamiento de Espectros de Radiación Gamma. Revista Cubana de Física. Vol. XII 2, (1991).
- [14] E. Marín, R. Soto y M. Hernández. Programa MSX-Basic para el Procesamiento Automático de Espectros de Radiación Gamma. Revista Cubana de Física. Vol. XII 2, (1991).
- [15] R. Soto et al. Diseño, Construcción y Puesta a punto de una Cámara de Bajo Fondo. Comunicación Privada. (1983).
- [16] E. Herrera, R. Soto. II Escuela para los Problemas Actuales de Asuntos Nucleares. Ciudad de la Habana. (1985).
- [17] Laboratory Manual. IAEA Training Course on Utilization of Neutron Generators. Hungría. (1982).

Tabla I. Clasificación de las muestras estudiadas.

PARTE	TRAT.	1ra EPOCA 60 DIAS	2da EPOCA 75 DIAS	3ra EPOCA 100 DIAS	4ta EPOCA 174 DIAS
HOJA	T-1	M-01	M-02	M-03	
TALLO	T-1	M-04	M-05	M-06	
RAIZ	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	
RAIZ	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	
RAIZ	T-3	M-29	M-30	M-31	
FLOR	T-3			M-32	
GRANO	T-3				M-33

Tabla II. Resultados del análisis cualitativo de las muestras.

No.	DIAS	TRAT.	PARTE	K	Fe	Zn	Br	Sr	Mo	V
01	60	T-1	HOJA	X	X	X	X	X		
02	75	T-1	HOJA	X	X	X	X	X	X	
03	100	T-1	HOJA	X	X	X	X	X	X	X
04	60	T-1	TALLO	X	X	X	X	X		
05	75	T-1	TALLO	X	X	X	X	X		X
06	100	T-1	TALLO	X	X	X	X	X		
07	60	T-1	RAIZ	X	X	X	X	X		X
08	75	T-1	RAIZ	X	X	X	X	X	X	X
09	100	T-1	RAIZ	X	X			X		X
10	60	T-2	HOJA	X			X	X		
11	75	T-2	HOJA	X	X	X	X	X		
12	100	T-2	HOJA	X	X	X	X	X		
13	60	T-2	TALLO	X	X	X	X	X		
14	75	T-2	TALLO	X			X	X		
15	100	T-2	TALLO	X			X	X		
16	174	T-1	GRANO	X		X				X
17	174	T-2	GRANO	X		X	X			
18	100	T-2	FLOR	X	X		X	X		
19	100	T-1	FLOR	X			X	X		
20	60	T-2	RAIZ	X	X	X	X	X	X	
21	75	T-2	RAIZ	X	X	X	X	X		X
22	100	T-2	RAIZ	X	X	X	X	X		X
23	60	T-3	HOJA	X			X	X		
24	75	T-3	HOJA	X	X	X	X	X		
25	100	T-3	HOJA	X	X		X	X		
26	60	T-3	TALLO	X			X	X		
27	75	T-3	TALLO	X			X	X		
28	100	T-3	TALLO	X				X		
29	60	T-3	RAIZ	X	X	X	X	X		
30	75	T-3	RAIZ	X	X	X		X		
31	100	T-3	RAIZ	X	X			X		
32	100	T-3	FLOR	X			X	X		
33	174	T-3	GRANO	X						



Tabla III. Determinación de N (Mét. abs.) y K por (AFRX).

No.	DIAS TRAT.	PARTE	M <sub>n</sub> (mg)	ERROR (mg)	C <sub>x</sub> (%)	ERROR(%)	
01	60	T-1	HOJA	35,06	5,86	5,43	8
02	75	T-1	HOJA	38,36	6,39	5,53	8
03	100	T-1	HOJA	31,39	5,23	4,34	8
04	60	T-1	TALLO	38,49	6,41	5,44	8
05	75	T-1	TALLO	38,95	6,49	6,34	8
06	100	T-1	TALLO	13,23	2,22	1,74	8
07	60	T-1	RAIZ	19,94	3,32	2,16	8
08	75	T-1	RAIZ	15,45	2,58	1,58	8
09	100	T-1	RAIZ	10,60	1,78	1,28	8
10	60	T-2	HOJA	41,52	6,90	5,17	8
11	75	T-2	HOJA	40,95	6,82	6,12	8
12	100	T-2	HOJA	32,19	5,36	4,78	8
13	60	T-2	TALLO	30,83	5,13	5,36	8
14	75	T-2	TALLO	32,60	5,43	3,82	8
15	100	T-2	TALLO	10,39	1,75	1,84	8
16	174	T-1	GRANO	12,90	2,23	0,56	9
17	174	T-2	GRANO	15,20	2,64	0,46	9
18	100	T-2	FLOR	24,61	4,11	2,71	8
19	100	T-1	FLOR	20,38	3,40	2,37	8
20	60	T-2	RAIZ	19,51	3,27	2,62	8
21	75	T-2	RAIZ	15,43	5,58	2,61	8
22	100	T-2	RAIZ	10,24	1,71	1,13	8
23	60	T-3	HOJA	38,31	6,38	4,76	8
24	75	T-3	HOJA	24,28	4,06	2,83	8
25	100	T-3	HOJA	23,12	3,86	3,45	8
26	60	T-3	TALLO	34,99	5,83	4,88	8
27	75	T-3	TALLO	25,98	4,34	2,62	8
28	100	T-3	TALLO	9,58	1,63	1,20	8
29	60	T-3	RAIZ	19,99	3,36	2,97	8
30	75	T-3	RAIZ	13,96	2,34	2,25	8
31	100	T-3	RAIZ	9,75	1,66	0,93	8
32	100	T-3	FLOR	23,96	3,99	2,53	8
33	174	T-3	GRANO	13,60	2,30	0,48	9

Tabla IV. Contenido de N (Mét. rel.) y No. atómico promedio.

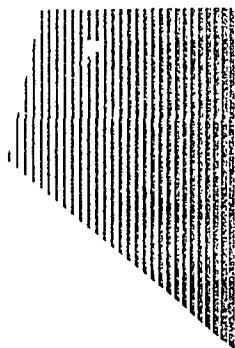
No.	DIAS TRAT.		PARTE	# ATOM.	M <sub>v</sub> (mq)	ERROR(mq)	M <sub>v</sub> (mq)
01	60	T-1	HOJA	7,60±3,4	36,24	5,33	5,61
02	75	T-1	HOJA	7,68±3,3	38,20	5,37	5,83
03	100	T-1	HOJA	7,68±3,3	31,53	4,59	4,79
04	60	T-1	TALLO	7,76±3,4	37,90	5,44	5,72
05	75	T-1	TALLO	8,08±3,3	39,92	5,80	5,95
06	100	T-1	TALLO	6,79±3,4	12,53	1,77	1,83
07	60	T-1	RAIZ	7,12±3,4	20,09	3,85	3,11
08	75	T-1	RAIZ	6,79±3,4	15,22	2,17	2,40
09	100	T-1	RAIZ	7,12±3,4	10,82	1,55	1,57
10	60	T-2	HOJA	7,52±3,4	41,03	5,83	6,01
11	75	T-2	HOJA	7,92±3,3	38,90	5,57	5,73
12	100	T-2	HOJA	7,60±3,4	31,86	4,62	4,88
13	60	T-2	TALLO	7,68±3,4	32,71	4,72	5,51
14	75	T-2	TALLO	7,20±3,5	33,33	4,74	5,33
15	100	T-2	TALLO	6,71±3,5	11,19	1,62	2,58
16	174	T-1	GRANO	6,23±2,7	13,11	2,00	2,11
17	174	T-2	GRANO	6,31±2,7	16,53	2,62	2,73
18	100	T-2	FLOR	6,95±3,5	25,27	3,70	4,23
19	100	T-1	FLOR	6,67±3,5	21,40	3,06	2,96
20	60	T-2	RAIZ	7,42±3,2	19,59	2,76	2,94
21	75	T-2	RAIZ	7,26±3,4	16,29	2,35	2,37
22	100	T-2	RAIZ	6,47±3,6	9,85	1,42	1,52
23	60	T-3	HOJA	7,44±3,5	36,57	5,25	5,30
24	75	T-3	HOJA	6,95±3,5	23,60	3,41	3,89
25	100	T-3	HOJA	7,20±3,4	21,92	3,13	3,52
26	60	T-3	TALLO	7,60±3,2	35,52	5,12	5,37
27	75	T-3	TALLO	6,95±3,5	24,46	3,50	3,92
28	100	T-3	TALLO	6,39±3,5	9,74	1,42	1,56
29	60	T-3	RAIZ	8,10±2,8	18,97	2,73	2,67
30	75	T-3	RAIZ	8,06±3,5	12,74	1,86	2,12
31	100	T-3	RAIZ	6,71±3,5	9,90	1,47	1,53
32	100	T-3	FLOR	7,12±3,4	23,34	3,39	3,67
33	174	T-3	GRANO	6,55±2,4	12,71	1,86	2,04

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

MUEST. No.	MET. ABS. % N	ERROR %	MET. REL. % N	ERROR %	MET. COLEMAN. %N	ERROR %
16	1,85	0,32	2,11	0,32	2,22	0,20
17	2,24	0,39	2,73	0,43	2,70	0,20
33	1,95	0,33	2,04	0,30	1,99	0,20

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

MUESTRA No.	TRATAMIENTO	CONTENIDO PROTEICO %	ERROR %
16	T-1	13,29	0,32
17	T-2	17,18	0,43
33	T-3	12,85	0,30



**CIE**

**CENTRO DE INFORMACION  
DE LA ENERGIA NUCLEAR**

Calle 20 No. 4113 e/ 18A y 47, Playa

Telf.: 22-7527. Fax: 331188.

E mail: cien @ceniai cu