

EMPLEO DE TÉCNICAS ISOTÓPICAS EN INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA, ABSORCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FERTILIZANTES EN CULTIVOS

Emilio Rodrigo Basantes ⁽¹⁾

⁽¹⁾Centro de Post Grados, Maestría en Agricultura
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador
erbasantes@espe.edu.ec

RESUMEN

El objetivo de este artículo es dar a conocer el empleo de técnicas isotópicas en investigación agrícola como una herramienta eficaz en la resolución de problemas inherentes a la explotación de los recursos agrícolas y producción de alimentos. El uso de isótopos es una forma eficaz de obtener una medida cuantitativa directa en las plantas que están bajo la influencia de varios factores, a fin de conocer aspectos puntuales como por ejemplo, eficiencia de uso de fertilizantes de un cultivo en particular, la contaminación de los suelos y la conservación de este recurso, entre otros. Para el efecto se emplean isótopos estables, utilizando fuentes enriquecidas como N15 o aprovechando la abundancia natural del mismo en atmósferas naturales. Bajo esta metodología se enriquece al suelo mediante dilución isotópica con el isótopo marcado, que será absorbido por la planta y luego se le sigue la pista al elemento tanto en el suelo como en la planta, para cuantificar la cantidad del elemento que absorbió la planta, cuanto quedó en suelo y cuanto del elemento se lixivió a capas fuera del sistema radicular. Por otro lado, también se puede distinguir cuanto de nitrógeno proviene del fertilizante, de la atmósfera a través de la fijación biológica y del suelo producto de la mineralización de la materia orgánica. De esta forma, los resultados alcanzados llevan a optimizar el uso del fertilizante, manejo eficiente del agua, cuidar el medio ambiente, e incrementar la producción y productividad de alimentos. Por último, se recomienda el uso de isótopos para estudios ambientales, conservación de suelos y manejo de cultivos.

Palabras clave: Isótopos estables en investigación agrícola. N15. Eficiencia de uso de fertilizantes. Absorción de N en Quinoa. Recuperación y pérdidas de nitrógeno.

ABSTRACT

The aim of this article is to present the use of isotope techniques in agricultural research as an effective tool in solving inherent in the use of agricultural resources and food production problems. The use of isotopes is an effective way to get a direct quantitative measurement in plants that are under the influence of various factors, in order to meet specific aspects such as fertilizer use efficiency of a particular crop contamination soil and conservation of this resource, among others. For stable isotope effect are employed, using enriched as N15 or taking advantage of the natural abundance of it in natural atmospheres sources. Under this methodology is enriched the soil by isotope dilution with labeled isotope, which will be absorbed by the plant and then keeps track of the element in the soil and in the plant, to quantify the amount of element absorbed by the plant, As it was in terms of soil and leached element layers outside the root system. Moreover, one can also distinguish comes as fertilizer nitrogen, the atmosphere through biological fixation and soil the digest organic matter. Thus, the results obtained lead to optimize fertilizer use, efficient water management, protecting the environment, and increase food production and productivity. Finally, the use of isotopes for environmental studies, soil conservation and crop management is recommended.

Keywords: Stable isotopes in agricultural research. N15. Fertilizer use efficiency. N uptake in Quinoa. Recovery and nitrogen losses.

Recibido: Diciembre de 2014
Aceptado: Febrero de 2015

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es el arte de producir alimentos que engloba la aplicación de conocimientos y técnicas para cultivar la tierra, manejo del cultivo, haciendo más eficiente el uso de recursos naturales del suelo, agua, agentes biológicos más de las acciones humanas que transforma el medio ambiente natural. La producción agrícola se ha incrementado significativamente en los últimos años, pero el incremento de la población mundial continúa, de manera que se requerirá una mayor producción de cultivos en las próximas décadas. El acelerado crecimiento demográfico mundial demanda de la agricultura mayores rendimientos de los cultivos, gran parte de los cuales dependen de un insumo básico que son los fertilizantes. De los nutrientes abastecidos por los fertilizantes, el nitrógeno (N) es uno de ellos y en algunos cultivos el incremento de rendimiento se debe en un 75% a este nutriente. Con el fin de cubrir la demanda de alimentos a futuro es inevitable pensar que el uso de fertilizantes nitrogenados continuará en aumento. Sin embargo, los fertilizantes son de alto costo, pudiendo por otra parte constituirse en agentes ambientales de polución.

En la agricultura moderna el uso de fertilizantes es esencial para maximizar el rendimiento, siendo necesario emplear técnicas adecuadas que contribuyan a conocer el uso eficiente de fertilizantes, para lo cual las técnicas isotópicas con utilización de isótopos radiactivos o estables desempeñan un importante papel en la investigación agrícola moderna. Los fertilizantes constituyen elementos vitales en la producción de alimentos, por ello es importante que se usen de manera eficiente para minimizar los costos de producción y preservar los recursos naturales.

Usualmente, un 30 a 50% del fertilizante nitrogenado es utilizado por el cultivo. El resto se pierde por volatilización, desnitrificación o lixiviación.

En países industrializados donde se aplican altas dosis de N, la contaminación de agua debida a nitratos ha causado un significativo daño a la salud. Y para evaluar los efectos de la aplicación de los diferentes fertilizantes, se ha utilizado varios métodos convencionales y métodos isotópicos. Entre estos están: el Método Clásico o convencional que mide el efecto de la dosis de aplicación sobre el rendimiento del cultivo. Métodos basados en la absorción del nutriente como el método de las diferencias. En este método indirecto, la absorción del nutriente por el cultivo en la parcela control se resta de los tratamientos con fertilizantes. Este método supone además que todas las transformaciones de nutrientes, es decir, la mineralización, inmovilización y otros procesos del suelo son los mismos para los suelos fertilizados y no fertilizados.

Método isotópico constituye el único método directo para medir la absorción de un nutriente proveniente de un fertilizante marcado con un isótopo (^{15}N). El método permite estimar no sólo la absorción de nutrientes por la planta sino también el nutriente proveniente del suelo, del fertilizante y otras prácticas de manejo referente a la absorción de nutrientes, como nitrógeno, fósforo y otros.

De ahí que la utilización de trazadores es una forma eficaz de obtener una medida cuantitativa directa de la influencia de los diferentes factores, sobre la eficiencia de uso de fertilizantes del cultivo, la contaminación de los suelos y, la conservación de este recurso. De manera general la utilización de técnicas nucleares en el campo de la agricultura ha sido de importancia para el mundo en desarrollo, y se citan algunos usos: inducir mutaciones y obtener nuevas variedades de cultivos deseados. Calcular el total de nitrógeno que se ha fijado durante todo el período de crecimiento y por este medio, se puede determinar y seleccionar para el mejoramiento genético leguminosas fijadoras de nitrógeno más eficiente con mayor rendimiento y contenido proteico. Otros logros ha sido la de reducir las pérdidas posteriores a la cosecha bajando la germinación y la contaminación, y prolongando el período de conservación de los productos alimenticios. Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas [4]. Fisiología de cultivos. Uso y manejo eficiente del agua. Estudios sobre erosión y materia orgánica del suelo. En este artículo se presenta casos de determinación de uso eficiente de fertilizantes y recuperación de N, usando ^{15}N como trazador y empleo de técnicas tradicionales en quinua.

2. METODOLOGÍA

Para la cuantificación del contenido de nitrógeno proveniente del suelo (NPS), del nitrógeno proveniente del fertilizante (NPF) y del nitrógeno proveniente de la fijación biológica (NPFb), tanto en porcentaje y cantidad, se utilizan las siguientes fórmulas, las mismas que consideran el nitrógeno absorbido por la planta (fijadora de N y control o no fijadora de N de la atmósfera), el fertilizante enriquecido con N15 y la abundancia natural del isótopo (AN).

$$\% \text{ NPF} = \left(\frac{\% \text{ N15 fij} - \text{AN}}{\% \text{ N15 atm} - \text{AN}} \right) \cdot 100$$

$$\% \text{ NPFb} = 1 - \left(\frac{\% \text{ N15 fij} - \text{AN}}{\% \text{ N15 con} - \text{AN}} \right) \cdot 100$$

$$\% \text{ NPS} = 100 - \% \text{ NPF} - \% \text{ NPFb}$$

$$\text{QNPF} = \left(\frac{\text{QNT} \cdot \% \text{ NPF}}{100} \right)$$

$$\text{QNPFb} = \left(\frac{\text{QNT} \cdot \% \text{ NPFb}}{100} \right)$$

$$\text{QNT} = \text{QNPS} + \text{QNPF} + \text{QNPFb}$$

En experimentos isotópicos ayudados de un fertilizante marcado que se agrega al suelo y la cantidad de nutriente del fertilizante que una planta ha tomado, se determinan de diversas maneras. El primer parámetro que se determinara es la cantidad absorbida del fertilizante por una cosecha que por medio de las técnicas del isótopo es la fracción del nutriente que la planta ha tomado del fertilizante marcado [7].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido ambiental del PN se deriva del CDB que en su art. 1- Objetivos señala: “Los objetivos del presente Convenio, que se han de perseguir de conformidad con sus disposiciones pertinentes, son la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los

3.1 Determinación del nitrógeno

El nitrógeno es un elemento esencial para la vida de las plantas y su carencia conduce a la muerte de las células. El 90 % de los compuestos orgánicos contienen N, el cual aparece en forma reducida NH₃. El suelo, la atmósfera y los fertilizantes constituyen las fuentes de nitrógeno para la planta, el cual ha sido determinado en leguminosas fijadoras y no fijadoras de nitrógeno, de acuerdo a la tabla 1.

Tabla 1 Cuantificación del N proveniente del fertilizante, fijación biológica y del suelo, usando el método isotópico [5].

Planta	MS	N	QNT	% at N15	NPF	QNPF	NPFB	QNFB	NPS	QNPS
	g/pl	%	mg/pl		(%)	mg/pl	%	mg/pl	%	mg/pl
Soya	23,33	2,75	641,58	0,534	2,8	17,8	59,8	383,4	37,5	240,4
Soya no nodulante	17,19	1,27	218,31	0,985	10,2	22,2	-	-	89,8	196,1
Arroz	5,9	0,97	57,23	1,123	12,4	7,12	-	-	87,6	50,1

Los resultados indican que la cantidad de nitrógeno total en la soya nodulante, el 60 % del nitrógeno proviene de la fijación biológica (NPFB), el 37% del N es proveniente del suelo y del fertilizante obtuvo el 3%. En tanto que los otros cultivos, obtuvieron el nitrógeno proveniente del suelo en porcentajes del 89.8 y 87.6 %, para la soya no nodulante y arroz, respectivamente. Esto indica que estos cultivos, agotan más el nitrógeno nativo proveniente de la mineralización de la materia orgánica, por lo que se debe restituir este material a fin de no deteriorar física y químicamente el suelo.

3.2 Recuperación y evaluación del N en el suelo

Para estudiar el destino del nitrógeno en el sistema suelo-planta se utilizó el isótopo estable ^{15}N . De acuerdo con esta técnica es posible determinar con precisión la distribución de nitrógeno en el sistema suelo-planta, inclusive su acumulación en diferentes partes de la planta como en diferentes camadas del perfil del suelo [8] [5]. Para este estudio se seleccionó el cultivos de rosas. Las flores más vendidas en el mundo son, en primer lugar, las rosas seguidas por los crisantemos, tercero los tulipanes, cuarto los claveles y en quinto lugar los liliun. Sin embargo, ninguna flor ornamental ha sido y es tan estimada como la rosa [3].

En la tabla 2, se presentan los datos sobre la recuperación del N derivado del fertilizante por el cultivo de rosas y las cantidades del nutriente que quedó retenido en el perfil del suelo [2]. Así mismo se presentan los datos sobre la distribución del N-fertilizante en las principales partes de la planta y en el horizonte del suelo de los diferentes tratamientos. Llamó mucho la atención los bajos valores de recuperación por la planta del N fertilizante aplicado, variando de 11.4% a 15.6%, siendo el valor más alto en el tratamiento donde se aplicó la mitad de la dosis normalmente aplicada en la región a este cultivo, donde los tratamientos estudiados fueron: T1=1114; T2 = 744; T3 = 371 y T4 = 0 Kg de N/ha/año.

Tabla 2 Determinación del N proveniente del fertilizante por el cultivo de rosas y evaluación de la cantidad de N que quedó en el perfil del suelo [2].

PLANTA	T1		T2		T3	
	Kg.ha ⁻¹	EUf (%)	Kg.ha ⁻¹	EUf (%)	Kg.ha ⁻¹	EUf (%)
Tallos	6.59	2.0	5.16	2.4	2.48	2.3
Hojas	6.82	2.1	4.16	1.9	4.07	3.8

Tallo floral	2.05	0.6	0.62	0.3	0.68	0.6
Total parte aérea	15.46	4.8	9.94	4.6	7.23	6.7
Raíz	21.56	6.6	15.61	7.2	9.62	8.9
Planta entera	37.02	11.4	25.55	11.8	16.85	15.6
SUELO						
Suelo 20 cm	65.99	20.3	23.37	10.8	21.69	20.1
Suelo 40 cm	16.06	4.9	33.93	15.6	23.14	21.4
Suelo 60 cm	19.97	6.1	21.5	9.9	20.88	19.3
Total suelo	102.02	31.4	78.8	36.3	65.71	60.8
RECUPERACION DE N						
Total N en el suelo + planta	139.04	42.8	104.35	48.1	82.56	76.4
N aplicado Kg.ha ⁻¹	325		217		108	
PERDIDAS DE N						
	185.96	57.2	112.65	51.9	25.44	23.6

Este problema está muy asociado con la alta disponibilidad de N mineral al momento de establecerse el experimento, situación donde generalmente la eficiencia de la fertilización nitrogenada disminuye. Sumado esto se debe destacar también que algún factor de suelo afectó negativamente el crecimiento de las plantas y por ende la demanda de este nutriente, disminuyendo así la eficiencia de la fertilización. Este problema parece estar directamente asociado con el alto grado de salinidad del suelo (6.6 mmhos/cm) causado por los altos niveles de fertilizantes que son aplicados al suelo permanentemente en los sistemas de producción intensiva de rosas en el país.

Dentro de la planta, la raíz acumuló alrededor del 60% del N aplicado, independiente del tratamiento estudiado, indicando tratarse de un órgano de reserva nutricional muy importante para el cultivo, pero sin duda que la contribución de esta fracción debe disminuir con el pasar del tiempo al sumarse cada vez más la producción de tallos florales.

El N fertilizante recuperado en el suelo (0-60cm) varió de 31 a 61% del N aplicado, siendo significativamente más alto, como esperado, en el tratamiento que menos recibió N fertilizante. En términos cuantitativos el contenido de N fertilizante recuperado en el suelo varió alrededor de 100 kg N/ha, demostrando que el suelo tiene una capacidad relativamente estable de retener el nutriente, de lo cual se deduce, que cualquier dosis de fertilizante aplicado, superior a la capacidad de retención del suelo estará sujeto pérdidas. Esto conlleva a elevar los costos de producción del cultivo, además de los fuertes riesgos ambientales que produce. Los resultados de este estudio demuestran que las pérdidas de este nutriente aplicado como nitrato de amonio varió de 24 a 57%, aumentando con la

dosis aplicada. Es importante destacar que la práctica de la fertilización es generalmente aplicada para suplir a la planta con los nutrientes esenciales para su crecimiento, y siempre de forma racional, pues dentro de ciertos límites el suelo no puede ser considerado como un medio para almacenar fertilizantes solubles, como parece ser este caso. El exceso de fertilización con fuentes solubles, como son todos los fertilizantes aplicados en fertirrigación, conlleva a acumulación causando fuerte salinidad. Este problema es sin duda la situación del área florícola estudiada. Para aliviar este problema se recomienda en primer lugar el lavado del suelo para disminuir la salinidad a niveles tolerables y manejar racionalmente la fertilización e irrigación.

Es mucho más rentable reducir la fertilización nitrogenada en el cultivo de rosas, ya que se ha comprobado que no existen efectos sobre la producción, a más de comprobar que las grandes cantidades de nitrógeno presente en el suelo son más que suficientes para el desarrollo normal de la planta de rosas. Uno de los beneficios más importantes al reducir la fertilización nitrogenada en el cultivo, es ambiental, ya que se reducirá la contaminación de suelo y de agua con nitritos y nitratos, que se ha comprobado su carácter dañino para la salud poblacional.

3.3 Contenido y extracción de Nitrógeno en quinua

El contenido de nitrógeno en la planta [1], según la tabla 3 indica que a los 60 días después de la siembra alcanzó un promedio de 4.8% N siendo la var. Tunkahuan ligeramente mayor con 4.84, en tanto que, a los 90 días el promedio fue de 2.40% N, y donde la var. Tunkahuan continúa siendo ligeramente mayor de la var. Chimborazo. La diferencia del contenido de nitrógeno en la fase de crecimiento de la quinua indica que la quinua es un cultivo que requiere mayor cantidad de nitrógeno en las etapas tempranas para favorecer la mayor producción de masa vegetativa, por lo tanto, en esta etapa se debe suplir las necesidades y los fraccionamientos de nitrógeno. A la siembra se debe suministrar una dosis baja y otra dosis mayor entre los 35 a 60 días después de siembra.

Esta tendencia del crecimiento se observa en la Figura 1, donde se aprecia que la quinua presentó una baja tasa de crecimiento hasta los 80 días y luego una fase de crecimiento mayor con una tendencia de crecimiento lineal, lo que lleva a recomendar un manejo adecuado del cultivo [9] a fin de optimizar los insumos y favorecer los mayores rendimientos, los mismos que fluctúan entre los 2 a 3.5 tn/ha, de acuerdo a las condiciones agroclimáticas y manejo del cultivo.

Una vez que la planta ha alcanzado su desarrollo vegetativo disminuye el contenido de N, en el área foliar debido a que la planta orienta su producción al desarrollo del aparato reproductivo y apareamiento de las inflorescencias, siendo una etapa que no requiere mucho N, sino otros elementos como fósforo y calcio. Esto también indica que el N en el contenido foliar disminuye ya que se produce translocación de N de las hojas al desarrollo de la panoja y formación del grano.

Tabla 3 Contenido de nitrógeno total (%) en quinua.

VAR.	TRATAMIENTOS	60 dds	90 dds
CHIMBORAZO	T1(V1 Ca50 N50)	4,7	1,97
	T2(V1 Ca50 N100)	5,1	2,37
	T3(V1 Ca50 N150)	4,67	2,5
	T4 (V1 Ca100 N50)	4,07	2,03
	T5 (V1 Ca100N100)	5,1	2,43
	T6 (V1 Ca100 N150)	5,33	2,8
			4.83

TUNKAHUAN	T7 (V2 Ca50 N50)	4,27	2,13
	T8 (V2 Ca50 N100)	4,73	2,37
	T9 (V2 Ca50 N150)	5,33	2,73
	T10(V2 Ca100 N50)	4	1,97
	T11(V2 Ca100N100)	5,23	2,3
	T12(V2Ca100 N150)	5,47	3,43
		4,84	2,49
	T13 V1 Ca 0 N80	5,43	2,6
	T14 V2 Ca 0 N80	5,17	2
	media	4,9 ± 0.5	2,4 ± 0.4
	CV %	10,21	16,90

En cuanto a la extracción de N presentada en el Figura 1, se observa que las dos variedades de quinua presentaron una tendencia de crecimiento cuadrática con excelente correlación. En esta curva de absorción del nitrógeno se observa que la quinua a los 40 y 80 dds obtuvo valores promedios de nitrógeno absorbido comprendidos entre 12 y menores a 60 kg N.ha⁻¹, respectivamente, pero este contenido de nitrógeno se dispara en sentido ascendente llegando a extraer un promedio de 146 Kg N/ha para la var. Chimborazo y 247 kg N/ha para la var. Tunkahuan, en tanto que, los testigos de cada variedad alcanzaron alrededor de 170 kg N/ha de promedio.

Estos acontecimientos marcados en la curva de absorción del N por el cultivo indican que la quinua inicialmente presenta una fase de crecimiento baja, donde la absorción de N es menor de 60 kg N/ha, pero luego hay una fase de rápido crecimiento que ocurre partir de los 80 dds, llegando a absorber un promedio de 193 kg N/ha, siendo además la var. Tunkahuan la que mayor cantidad de N extrae.

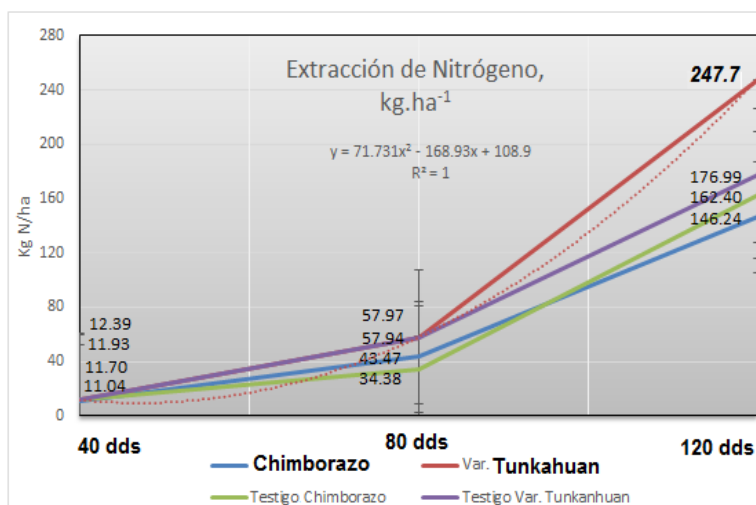


Figura 1 Extracción de nitrógeno, kg.ha⁻¹.

La elaboración de curvas de crecimiento expresan la forma de absorción del cultivo en función del tiempo [6] y sirven para conocer los requerimientos de la quinua, y de esa forma saber cuáles etapas de crecimiento son las de mayor absorción. Por lo que, conociendo estas necesidades podemos adoptar formas de recomendación de fertilizantes y reciclar el material residual para balancear el estado nutricional del suelo y no dejar que el suelo se perjudique. De esta forma, se puede recomendar que para obtener mayor aprovechamiento del N este se debe aplicar entre los 40 y 60 días después de la siembra, la misma que favorecerá obtener mayor crecimiento y ayudará inclusive a cortar el ciclo vegetativo.

Por último, los datos obtenidos de absorción de N ratifican que la quinua presenta una fase inicial de bajo crecimiento pero esta se dispara en forma lineal a partir de los 80 días por lo que la fertilización de la quinua debe orientarse a estos periodos.

5. CONCLUSIONES

- El incremento del 50% de la fertilización aplicada por la finca alteró el desarrollo de la planta disminuyendo su longitud en 42.75 cm. Debido posiblemente a que a mayor incremento de nitrógeno en el suelo, el pH se vuelve más ácido en el suelo, lo que afecta al desarrollo vegetativo de la planta. Las plantas presentaron menores % de nitrógeno en la raíz, tallo y hojas, en respuesta a la mayor fertilización nitrogenada, posiblemente debido a que la planta respondió de mejor manera a las concentraciones bajas de este elemento en el suelo, ya que los excesos de N incrementan la acidez del suelo, la cual afectó en la disponibilidad del nitrógeno en el suelo. Referente a la extracción de N, la quinua extrajo una cantidad promedio de 197 kg N ha⁻¹, siendo la variedad Tunkahuan la que mayor extrae (247,7) frente a la Chimborazo con 146,2 kg N ha⁻¹, esas cantidades tienen relación directa con la producción vegetativa de la planta, presentada hasta la floración. La Var. Chimborazo presentó un ciclo vegetativo mayor que la var. Tunkahuan, además fue más variable en colores, crecimiento y diversidad de plantas, ya que es una variedad que proviene de variedades nativas mejoradas del sur de Riobamba, en tanto que la Tunkahuan es uniforme en especies y fenotipo.

7. REFERENCIAS

- [1] OBANDO, D; LAZO, D. BASANTES, E; VILLACIS, J. 2014. Evaluación del contenido mineral y extracción del nitrógeno y calcio en dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa*), durante el desarrollo vegetativo. Tesis. Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE. Quito.
- [2] PAZMIÑO, D.; AVALOS, R; BASANTES, E. 2007. Estudio sobre el uso eficiente de fertilizantes nitrogenados en la producción de rosas (*rosa sp. var. classy*), aplicando técnicas isotópicas en la florícola Loveroses S.A. Tesis de grado, Escuela Politécnica del Ejército, Quito.
- [3] INFOAGRO. El cultivo de la rosa, (en línea), disponible: <http://www.infoagro.com/flores/flores/rosas.htm>
- [4] BASANTES, E. Avaliação do Método da diluição isotópica com adição de fertilizante ¹⁵N ao solo, na quantificação da FBN de leguminosas. Tesis de Maestría - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / USP. Piracicaba-Brasil. 1990. 115p.

- [5] BASANTES, E.; TRIVELIN, P.; SIU, M. T. Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno por el método isotópico del ^{15}N y evaluación del efecto de la micorriza en leguminosas. Nucleociencias, año4 No.4 (Julio 1993), Órgano de difusión de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, Quito-Ecuador, 1993. p 37-53.
- [6] BASANTES, S., CHASIPANTA, J., BASANTES, E., SORIA, N. (2012). Determinación del Requerimiento Nutricional del Fósforo sobre la inducción floral sobre el Cultivo de Piña (*Ananas comosus*). Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE. Quito.
- [7] IAEA, Uses of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition, training course series 14, Vienna. 2001.
- [8] URQUIAGA, S. Eficiencia de la fertilización nitrogenada en los principales cultivos anuales. In: Urquiaga, S.; Zapata, F. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Porto Alegre: Gênese; Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiología, 2000. p. 31-49.
- [9] BASANTES, M. E. 2014. Curso de Cultivos. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. 82 p.