

A NEW N INDEX TO ASSESS NITROGEN DYNAMICS IN POTATO (*Solanum tuberosum* L.) PRODUCTION SYSTEMS OF BOLIVIA

UN NUEVO ÍNDICE DE NITRÓGENO PARA EVALUAR LA DINÁMICA DE NITRÓGENO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN BOLIVIA

Ana K. Saavedra¹, Jorge A. Delgado^{2*}, Ruben Botello¹, Pablo Mamani¹, Jeffrey Alwang³

¹PROINPA, Cochabamba, Bolivia. ²USDA-ARS, Soil Plant Nutrient Research Unit, Fort Collins, CO 80526. (Jorge.Delgado@ars.usda.gov). ³Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061.

ABSTRACT

Bolivia is South America's poorest country, with over 80 % of the rural population under the poverty line and agricultural productivity is closely inversely correlated with poverty in rural Bolivia. Potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the most important crops for food security in Bolivia, where it is grown with traditional methods, and national-level yields are low. Traditional management of potato involves use of organic amendments (animal manures) to supply N. Enhanced N management has the potential to raise potato yields and reduce rural poverty, yet there is a lack of information about improving nitrogen management practices in potato production areas where traditional systems predominate. A N index for traditional agricultural systems in Bolivia was developed and tested with metadata collected from two of the few studies available for high-altitude systems. The Bolivia N index was able to predict the nitrogen uptake for potato systems at these sites and uptake was correlated with yields ($p \leq 0.001$). Potato responded significantly to N inputs and to total N availability. The Bolivia N index can be used to assess management practices for traditional potato systems and can provide information to farmers and technicians, helping them improve N management to increase yields and food security in Bolivia.

Key words: Food security, high altitude cropping systems, nitrate leaching, *Solanum tuberosum* L., sustainable system.

*Author for correspondence ❖ Autor responsable.

Received: July, 2014. Approved: September, 2014.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 48: 667-678. 2014.

ABSTRACT

Bolivia es el país más pobre de Sudamérica, con más del 80 % de la población rural bajo la línea de pobreza y la productividad agrícola tiene una estrecha correlación inversa con la pobreza en el área rural de Bolivia. La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos más importantes para la seguridad alimentaria en Bolivia, donde se cultiva con métodos tradicionales, y los rendimientos nacionales son bajos. El manejo tradicional de la papa implica el uso de sustancias orgánicas (estiércol animal) para suministrar N. El uso de N mejorado tiene el potencial de aumentar los rendimientos de papa y reducir la pobreza rural, pero falta de información para mejorar las prácticas de empleo del nitrógeno en las áreas de producción de papa, donde predominan los sistemas tradicionales. Un índice de N de los sistemas agrícolas tradicionales en Bolivia se desarrolló y probó con metadatos recolectados de dos de los pocos estudios disponibles para sistemas de gran altitud. El índice de N de Bolivia pudo predecir la absorción de nitrógeno por los sistemas de papa en estos sitios y la absorción se correlacionó con el rendimiento ($p \leq 0.001$). La papa respondió significativamente a los aportes de N y a la disponibilidad de N total. El índice de N de Bolivia puede usarse para evaluar las prácticas de manejo de los sistemas tradicionales de papa y puede entregar información a los agricultores y técnicos, ayudándolos a mejorar el uso del N para aumentar los rendimientos y la seguridad alimentaria en Bolivia.

Palabras clave: Seguridad alimentaria, sistemas de cultivo de gran altitud, lixiviación de nitrato, *Solanum tuberosa* L., sistema sustentable.

INTRODUCTION

Potato (*Solanum tuberosum* L.), one of the most important crops in Bolivia, is planted in several locations ranging from the Andean regions to the Santa Cruz valleys to the Bolivian plateau. Rural livelihoods depend on potato yields, but production systems are vulnerable due to erosion on steeply sloped parcels and irregular rainfall and they are also not managed with sufficient nitrogen inputs to maximize the value of yields net of costs (Bottner *et al.*, 2006). Agriculture in this region is semi-subsistent; potato provides as much as 50 % of food energy, and it can be a major source of household income (Alwang *et al.*, 2013). Average yields in potato-producing areas near Tiraque, outside of Cochabamba, may be as high as 10 Mg ha⁻¹. The region is dominated by the use of the varieties Waycha and Desiree; other important varieties include Jaspe, Toralapa and Robusta. The traditional practice in these low input systems is to plant two potato crops per year where irrigation water is available, or a single crop in rainfed systems. In irrigated systems there is an early planting of misk'a from May to August. The intensive planting season, also known as the "jatun tarpuy", is conducted when the rainy season begins in October and November.

Typical rotations are potato – beans (*Phaseolus vulgaris* L.) or corn (*Zea mays* L.) – cereals – fallow (return to native grass system). In high-altitude systems, the main rotation is potato – cereals – fallow (return to native grass system). These rotations have short planting seasons for the crops that can last from one to three years followed by a fallow period (*return to native grass system*) that can last up to 20 years. During the fallow period, the native vegetation can regrow, improving the soil system and reducing the erosion (Bottner *et al.*, 2006). In irrigated areas, the fallow period is significantly shortened or eliminated.

Cultivation of these vulnerable soils significantly impacts their fertility, reducing their productivity (Sarmiento and Bottner, 2002), which is aggravated by poor management practices where the crop residue is removed and used as forage, thus increasing the potential for erosion and preventing re-incorporation of residue nutrients into the soil. Some examples of good management practices for these systems include leaving crop residue in the field (to reduce erosion and preserve soil moisture), using minimum tillage,

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosa* L.), uno de los cultivos más importantes de Bolivia, se planta en varios lugares, desde las Regiones Andinas a los valles de Santa Cruz hasta el altiplano boliviano. La subsistencia rural dependen del rendimiento de la papa, pero los sistemas de producción son vulnerables debido a la erosión de las parcelas con pendientes pronunciadas y a las lluvias irregulares y también porque no se manejan con suficiente aporte de nitrógeno para maximizar el valor de los rendimientos netos de los costos (Bottner *et al.*, 2010). La agricultura en esta región es de semisubsistencia; la papa ofrece hasta 50 % de energía alimentaria, y puede ser una fuente importante de ingresos de los hogares (Alwang *et al.*, 2013). Los rendimientos promedio en las zonas productoras de papa cerca de Tiraque, afuera de Cochabamba, puede ser tan alta como 10 Mg ha⁻¹. La región está dominada por el uso de las variedades Waycha y Desiree; otras variedades importantes Jaspe, Toralapa y Robusta. La práctica tradicional en estos sistemas de bajos insumos es plantar dos cultivos de papa al año, donde el agua de riego está disponible, o un solo cultivo en sistemas de secano. En los sistemas con riego hay una siembra temprana de misk'a de mayo a agosto. La temporada de siembra intensiva, también conocido como el "jatun tarpuy", se realiza al iniciar la temporada de lluvias en octubre y noviembre.

Las rotaciones típicas son papa - frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) o maíz (*Zea mays* L.) – cereales – barbecho (retorno al sistema de pasto nativo). En sistemas de gran altitud, la principal rotación es papa – cereales – barbecho (retorno al sistema de gramíneas nativas). Estas rotaciones tienen temporadas cortas de siembra para los cultivos que pueden durar de uno a tres años, seguidos de un período de barbecho (retorno al sistema de gramíneas nativas) que puede durar hasta 20 años. Durante el período de barbecho, la vegetación nativa puede volver a crecer, mejorar el sistema del suelo y reducir la erosión (Bottner *et al.*, 2006). En las zonas de regadío, el período de barbecho se acorta significativamente o se elimina.

El cultivo de estos suelos vulnerables impacta significativamente su fertilidad, y reduce su productividad (Sarmiento y Bottner, 2002), la cual se agrava por el manejo incorrecto en el que el residuo de la

and leaving fields in native vegetation to be used for forage.

About 60 % of the 8.3 million people in Bolivia live in poverty, and for the rural areas there is 82 % of the population living below the poverty line (UNICEF, http://www.unicef.org/bolivia/resources_2332.htm). Low agricultural productivity, lack of infrastructure, and limited access to markets are correlated with high poverty in rural areas (UNICEF, http://www.unicef.org/bolivia/resources_2332.htm).

These issues are even more challenging in the context of climate change, where rainfall patterns are changing (*e.g.*, shorter, yet more violent and irregular rainfall events). To optimize agricultural productivity and increase food security, conservation practices are needed, as well as improved management at the field level to increase adaptation to climate change (Delgado *et al.*, 2011; Lal *et al.*, 2011). Best nitrogen management is at the center of climate change adaptation and it is essential to increase productivity in vulnerable, low-input systems (Delgado *et al.*, 2011; Lal *et al.*, 2011).

Conservation agriculture has increased yields in low-input systems in Asia, Africa, and Latin America (Thiombiano and Meshack, 2009; Silici, 2010; Alwang *et al.*, 2013). Conservation agriculture (FAO, 2009) can help increase yields and reduce vulnerability to climate-based fluctuations. Good nitrogen management can significantly contribute to increased yields while reducing nitrogen losses, which can improve water quality and raise the economic viability of fragile systems. Besides, the use of computer tools can contribute to improved nitrogen management (Delgado and Follett, 2010). There is a lack of information on improving yields in Bolivian cropping systems and using tools to improve nitrogen management to increase yields.

The available peer-reviewed literature has few, if any, papers on soil nitrogen dynamics, nitrogen uptake, and best management practices for low-input systems in Andean regions of Bolivia. Chemical fertilizers are used in some regions of Bolivia high plateau, but often the only fertilization is sheep and camelid manure. In areas such as the Tiraque region, use of purchased fertilizer has declined and chemical fertilizers were replaced by organic manure from chickens and cattle. The average amount of poultry manure applied in the

cosecha se retira y se usa como forraje, lo que aumenta el potencial de erosión e impide la reincorporación de nutrientes residuales en el suelo. Algunos ejemplos de buenas prácticas de manejo de estos sistemas incluyen dejar residuos de cultivos en el campo (para reducir la erosión y conservar la humedad del suelo), el uso de labranza mínima, y dejar los campos con la vegetación nativa que se usará para forraje.

Alrededor del 60 % de los 8.3 millones de personas en Bolivia viven en la pobreza, y para las zonas rurales 82 % de la población vive debajo del umbral de pobreza (UNICEF, http://www.unicef.org/bolivia/resources_2332.htm). La baja productividad agrícola, la falta de infraestructura y el acceso limitado a los mercados están correlacionados con altos índices de pobreza en las zonas rurales (UNICEF, http://www.unicef.org/bolivia/resources_2332.htm).

Estos problemas son aún más difíciles en el contexto del cambio climático, donde los patrones de precipitación están cambiando (por ejemplo, ocasiones más esporádicas de lluvia, pero más violentas e irregulares). Para optimizar la productividad agrícola y aumentar la seguridad alimentaria, se necesitan prácticas de conservación, así como un manejo mejor en campo para aumentar la adaptación al cambio climático (Delgado *et al.*, 2011; Lal *et al.*, 2011). Un mejor uso del nitrógeno está en el centro de la adaptación al cambio climático y es esencial para aumentar la productividad en sistemas vulnerables de bajos insumos (Delgado *et al.*, 2011; Lal *et al.*, 2011).

La agricultura de conservación ha aumentado los rendimientos en sistemas de bajos insumos en Asia, África y América Latina (Thiombiano y Meshack, 2009; Silici, 2010; Alwang *et al.*, 2013). La agricultura de conservación (FAO, 2009) puede ayudar a aumentar los rendimientos y reducir la vulnerabilidad a las fluctuaciones basados en el clima. El buen manejo del nitrógeno puede contribuir de manera significativa a aumentar los rendimientos reduciendo las pérdidas de nitrógeno, lo que puede mejorar la calidad del agua y aumentar la viabilidad económica de los sistemas frágiles. Además, el uso de herramientas informáticas puede contribuir a mejorar el manejo del nitrógeno (Delgado y Follett, 2010). Hay una falta de información sobre el mejoramiento de los rendimientos en sistemas de cultivo bolivianos y el uso de herramientas para mejorar el manejo del nitrógeno y aumentar los rendimientos.

Tiraque area is 8 Mg ha^{-1} . Decision makers in the Tiraque region lack information on nitrogen management, how to effectively estimate crop nitrogen requirements, and how to make nitrogen management decisions.

In the scientific literature reviewed no papers were found about the use of computer tools to improve nutrient management in these low-input cropping systems. New tools such as the Bolivia N index, which is bilingual (English and Spanish) and can be run in either English or IS units, have great potential to close the information gap. The N index is a simple but robust tool that can quickly assess the effect of nitrogen management practices on nitrogen uptake by crops, nitrogen use efficiency, and the risk of nitrogen losses to the environment (De Paz *et al.*, 2009; Figueroa *et al.*, 2011; Monar *et al.*, 2013). It can be used as an extension tool to quickly provide information about nitrogen management. Additional information about the N index can be found in Delgado *et al.* (2006, 2008), Figueroa *et al.* (2011), and Monar *et al.* (2013).

The USAID Sustainable Agriculture and Natural Resource Management (SANREM) Collaborative Research Support Project (CRSP) has been working for more than eight years in the Tiraque region. SANREM CRSP is a collaboration among several entities from the USA and Bolivia, including Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech), the USDA Agricultural Research Service (ARS) Soil-Plant-Nutrient-Research Unit (SPNRU), and the Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (Fundación PROINPA). As a part of the project's focus on conservation agriculture in these potato-producing areas, SANREM CRSP developed a new N index with a sustainability index for application in Ecuador and Bolivia (Monar *et al.*, 2013). However, the new Bolivia N index has not been tested for this region.

Potato is highly sensitive to inputs; yields and even potato quality can be improved with good nitrogen management (Essah and Delgado, 2009). The Bolivia N index can quickly assess the effects of management practices on nitrogen dynamics, nitrogen uptake, and the potential risk of nitrogen losses to the environment. Conservationists, nutrient managers, and farmers can use it to improve management and increase yields.

En la literatura científica hay pocos, si es que alguno, documentos sobre la dinámica del nitrógeno del suelo, la absorción de nitrógeno y las prácticas mejores de manejo para los sistemas de bajos insumos en las regiones andinas de Bolivia. Fertilizantes químicos se usan en algunas regiones del altiplano de Bolivia, pero a menudo la única fertilización es estiércol de ovejas y de camélidos. En áreas como la región de Tiraque, el uso de fertilizantes comprados ha disminuido y los fertilizantes químicos fueron reemplazados por el abono orgánico de pollos y ganado. La cantidad promedio de gallinaza aplicada en el área de Tiraque es 8 Mg ha^{-1} . Quienes toman decisiones en la región de Tiraque carecen de información sobre el manejo del nitrógeno, cómo estimar de manera efectiva las necesidades de nitrógeno de los cultivos, y cómo decidir el manejo del nitrógeno.

En la literatura científica revisada no se encontraron artículos sobre el uso de herramientas informáticas para mejorar el manejo de los nutrientes en estos sistemas de cultivo de bajos insumos. Las herramientas nuevas, como el índice de N de Bolivia, que es bilingüe (inglés y español) y puede ejecutarse tanto en unidades inglesas o IS, tienen un gran potencial para cerrar la brecha de información. El índice de N es una herramienta simple pero robusta que puede evaluar rápidamente el efecto de las prácticas de manejo de nitrógeno en la absorción de nitrógeno por los cultivos, la eficiencia del uso de nitrógeno, y el riesgo de pérdidas de nitrógeno en el medioambiente (De Paz *et al.*, 2009; Figueroa *et al.*, 2011; Monar *et al.*, 2013). Se puede usar como una herramienta de extensión para proporcionar información rápida sobre el manejo del nitrógeno. Información adicional sobre el índice de N se puede encontrar en Delgado *et al.* (2006, 2008), Figueroa *et al.* (2011), y Monar *et al.* (2013).

La USAID Agricultura Sostenible y Manejo de Recursos Naturales (SANREM) Proyecto de Apoyo a la Investigación Colaborativa (CRSP) ha trabajado más de ocho años en la región de Tiraque. SANREM CRSP es una colaboración entre varias entidades de los EE.UU. y Bolivia, incluyendo el Instituto Politécnico de Virginia y la Universidad Estatal (Virginia Tech), el Servicio de Investigación Agrícola (ARS) del USDA, la Unidad de Investigación Suelo, Plantas y Nutrientes (SPNRU), y la Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (Fundación PROINPA). Como parte del enfoque

This is the first use of the N index to evaluate application of nitrogen in low-input (low rate of organic N or inorganic N fertilizer) high-altitude, sustainable systems of Bolivia. The objective of this study was to use the few published data from two studies conducted with potato systems in Bolivia, to evaluate the performance of the new Bolivia N index in assessing nitrogen management.

MATERIALS AND METHODS

The new Bolivia N index was developed to assess the effects of management practices on cropping systems in Ecuador and Bolivia (Monar *et al.*, 2013). To validate the study, the available scientific literature on potato systems in the Andean region of Bolivia and other Andean regions was reviewed and only two studies were found about potato systems and nitrogen management in Bolivia. These studies were conducted in Andean Bolivia in Patacamaya, La Paz state (Pestalozzi, 2000), and in Japo, Cochabamba (Couteaux *et al.*, 2008). These sites have typical climate patterns for Bolivian high-altitude cropping systems, with a rainy summer season, November to March, and a cool winter dry season, April to October (Pestalozzi, 2000; Couteaux *et al.*, 2008). Precipitation at Patacamaya was 334 and 316 mm for the first and second years of the study, respectively, the average annual mean temperature was 8.7 °C, the soil pH was 6.2 and the organic matter (OM) content was 0.6 %. In Japo, the annual precipitation was 400 mm, the average temperature was 6.6 °C, the soil pH was 4.9, and the soil OM ranged from 1.4 to 4.1 %.

Pestalozzi (2000) monitored 11 plots, six of which had native vegetation, and compared nitrogen dynamics during different fallow periods. Detailed descriptions of the nitrogen fertilizer and organic fertilizer or both from this study were entered into the N index. Four control plots that did not receive any type of nitrogen input were also established at these sites. The fallow periods monitored were in sites which were fallowed for 9, 19, and 20 years. Details of this study and that of Couteaux *et al.* (2008) are presented in Table 1. Couteaux *et al.* (2008) studied the dynamics of potato in a crop rotation of potato and grains and applied cattle manure during the two years of potato cropping (Table 1). The data in these studies about weather, precipitation, soil bulk density, soil organic matter, soil pH, yields, nitrogen fertilizer input, and organic inputs were entered into the Bolivia N index, which estimated the crop nitrogen uptake and nitrogen losses via different pathways. There is additional information about the N index, including its algorithms and capabilities, in Delgado *et al.* (2006, 2008), De Paz *et al.* (2009), Figueroa *et al.* (2011), and Monar *et al.* (2013). Version 4.4.2 of the N index can be downloaded from <http://>

del proyecto sobre la agricultura de conservación en estas zonas productoras de papa, SANREM CRSP desarrolló un nuevo índice de N con un índice de sustentabilidad para su aplicación en Ecuador y Bolivia (Monar *et al.*, 2013). Sin embargo, el nuevo índice de N de Bolivia no se ha probado para esta región.

La papa es muy sensible a los insumos; los rendimientos y la calidad de la papa pueden mejorarse con un buen manejo del nitrógeno (Essah y Delgado, 2009). El índice de N de Bolivia puede evaluar rápidamente los efectos de las prácticas de manejo sobre la dinámica del nitrógeno, la absorción de nitrógeno, y el riesgo potencial de pérdidas de nitrógeno en el medioambiente. Los conservacionistas, administradores de nutrientes, y agricultores pueden usarlo para mejorar el manejo y aumentar el rendimiento.

Este es el primer uso del índice de N para evaluar la aplicación de nitrógeno en sistemas sostenibles de Bolivia de bajos insumos (baja tasa de N orgánico o fertilizante N inorgánico) a gran altitud. El objetivo de este estudio fue usar los pocos datos publicados de dos estudios realizados con sistemas de papa en Bolivia, para estimar el rendimiento del nuevo índice de N de Bolivia en la evaluación del manejo del nitrógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El nuevo índice de N de Bolivia se desarrolló para evaluar los efectos de las prácticas de manejo en los sistemas de cultivo en Ecuador y Bolivia (Monar *et al.*, 2013). Para validar el estudio, se revisó la literatura científica disponible sobre los sistemas de papa en la región andina de Bolivia y otras regiones andinas y se encontraron solo dos estudios sobre los sistemas de papa y el manejo del nitrógeno en Bolivia. Estos estudios se realizaron en la Bolivia Andina en Patacamaya, estado La Paz (Pestalozzi, 2000), y en Japo, Cochabamba (Couteaux *et al.*, 2008). Estos sitios tienen patrones climáticos típicos para sistemas bolivianos de cultivos a gran altitud, con una temporada de lluvias de verano de noviembre a marzo, y una temporada seca de frío invernal de abril a octubre (Pestalozzi, 2000; Couteaux *et al.*, 2008). Las precipitaciones de Patacamaya fueron de 334 y 316 mm para el primer y segundo año del estudio, respectivamente, la temperatura media anual promedio fue 8.7 °C, el pH del suelo fue 6.2 y el contenido de materia orgánica (MO) fue 0.6%. En Japo, la precipitación anual fue 400 mm, la temperatura media fue 6.6 °C, el pH del suelo fue 4.9, y la MO del suelo varió de 1.4 a 4.1%.

Pestalozzi (2000) monitoreó 11 parcelas, de las cuales seis tenían vegetación nativa, y comparó la dinámica del nitrógeno

Table 1. Studies conducted at different sites in Cochabamba and Patacamaya Bolivia with respective soil properties (soil organic matter (SOM), pH) and rotation. Amount of fertilizer and organic N inputs per hectare are also listed for these studies.

Cuadro 1. Estudios realizados en diferentes sitios en Cochabamba y Patacamaya Bolivia con respectivas propiedades del suelo (materia orgánica del suelo (MOS), pH) y rotaciones. Cantidad de fertilizantes e insumos de N orgánico por hectárea también se enumeran para estos estudios.

No	Study**	SOM (%)	pH	Rotation* (yrs fallow)	Organic N (kg N ha ⁻¹)	Fertilizer (kg N ha ⁻¹)
1	1	2.7	4.8	19	112.8	0
2	1	2.7	4.8	19	0	0
3	1	3.5	4.8	nv	0	22.8
4	1	1.5	4.8	20	0	21.4
5	1	1.5	4.8	20	0	0
6	1	1.4	4.8	9	0	5.3
7	1	4.1	4.8	nv	0	15.1
8	1	3.2	4.8	nv	0	12.2
9	1	3.2	4.8	nv	0	0
10	1	3.5	4.8	nv	0	8.1
11	1	3.5	4.8	nv	0	0
12	2	0.6	6.2	p	30.1	0
13	2	0.6	6.2	p	27.8	0
14	2	0.6	6.2	p	71.9	0
15	2	0.6	6.2	p	77.4	0

*Numbers are years in fallow before planting potato crop; nv is native vegetation. p is potato. **Study #1 was conducted by Pestalozzi (2000) at an altitude of 4200 m in Cochabamba; Study #2 was conducted by Coteaux *et al.* (2008) at an altitude of 3789 m in Patacamaya ❖ *Los números son años en barbecho antes de plantar el cultivo de papa; nv es vegetación nativa; p es papa. **El estudio #1 fue realizado por Pestalozzi (2000) a una altitud de 4200 m en Cochabamba; El estudio #2 fue realizado por Coteaux *et al.* 2008 a una altitud de 3789 m en Patacamaya.

www.ars.usda.gov/npa/spnr/nitrogentools; the user manual for this tool is available at http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/ad_hoc/54020700NitrogenTools/Nitrogen%20Index%204.4%20User%20Manual%20final.pdf.

Statistical analysis of the performance of the Bolivia N index was conducted by using the SAS regression analysis procedure (SAS, 1988) to determine the relationship between predicted and observed values.

RESULTS AND DISCUSSION

The nitrogen uptake of potato estimated by the Bolivia N index was correlated with the observed uptake across all these studies (Figure 1; $p \leq 0.001$) and the model was accurate in predicting actual crop uptake measured at the Cochabamba and Patacamaya sites. Mean potato tuber fresh yields

durante diferentes períodos de barbecho. Las descripciones detalladas del fertilizante nitrogenado y fertilizante orgánico o ambos de este estudio se introdujeron en el índice de N. Cuatro parcelas de control que no recibieron ningún tipo de insumos nitrogenados también se establecieron en estos sitios. Los períodos de barbecho monitoreados fueron en sitios puestos en barbecho por 9, 19 y 20 años. Los detalles de este estudio y el de Coteaux *et al.* (2008) se presentan en la Tabla 1. Coteaux *et al.* (2008) estudiaron la dinámica de la papa en una rotación de cultivos de papa y granos y se aplicó estiércol de ganado durante los dos años de cultivo de papa (Cuadro 1). Los datos de estos estudios sobre el clima, precipitación, densidad aparente del suelo, materia orgánica del suelo, pH del suelo, rendimientos, aplicación de fertilizante de nitrógeno, e insumos orgánicos se introdujeron en el índice de N de Bolivia, que estimó la absorción de nitrógeno de los cultivos y las pérdidas de nitrógeno a través de diferentes vías. Hay información adicional sobre el índice de N, incluyendo

were significantly correlated with observed N uptake in these representative sites (Figure 2; $p \leq 0.001$). In other words, for higher tuber yields, more nitrogen needs to be in the system to meet the crop's needs (Figure 2; $p \leq 0.001$). This response is similar to studies showing a yield response to nitrogen management and higher nitrogen inputs (Essah and Delgado, 2009).

The Bolivia N index calculates the nitrogen available in the system by estimating the nitrogen mineralization from the soil organic matter, as well as the nitrogen mineralization from the previous crop residue and from any organic amendments. The N index then sums the nitrogen mineralization estimates for these organic compartments with other nitrogen inputs such as atmospheric nitrogen, precipitation, and nitrogen fertilizer applied. Crop uptake is estimated by the N index.

These results of having more N removed by crop uptake than applied to the system, show that higher yields and higher N use efficiency can be obtained in a system that has low N losses to the environment. For example, the average N input from organic and inorganic nitrogen fertilizers at these 15 sites was $27.0 \text{ kg N ha}^{-1}$. However, the average N uptake from these sites was $49.9 \text{ kg N ha}^{-1}$, nearly twice as much. The average nitrogen cycling from the systems for these sites was estimated with the N Index to be $70.4 \text{ kg N ha}^{-1}$. These systems are low in nitrogen inputs, and the crop is mining N from the system

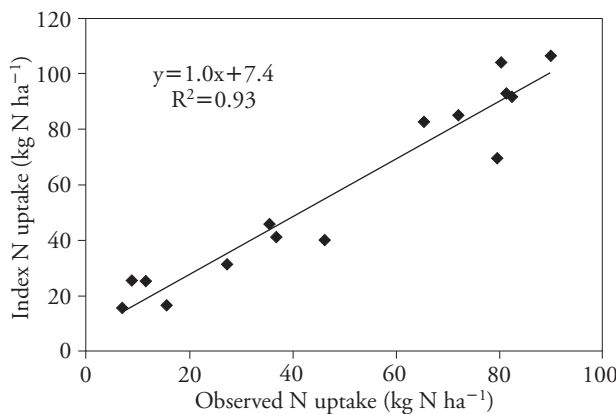


Figure 1. Potato crop nitrogen uptake estimated by the Nitrogen Index versus observed total nitrogen uptake at harvest.

Figura 1. Absorción de nitrógeno del cultivo de papa estimada por el Índice de Nitrógeno versus absorción de nitrógeno total observado en la cosecha.

su algoritmos y capacidades, en Delgado *et al.* (2006, 2008), De Paz *et al.* (2009), Figueroa *et al.* (2011), y Monar *et al.* (2013). La versión 4.4.2 del índice N puede descargarse de <http://www.ars.usda.gov/npa/spnr/nitrogentools>; el manual del usuario para esta herramienta está disponible en <http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/ad-hoc/54020700NitrogenTools/Nitrogen%20Index%204.4%20User%20Manual%20final.pdf>.

El análisis estadístico del desempeño del índice de N de Bolivia se realizó con el procedimiento de análisis de regresión SAS (SAS, 1988) para determinar la relación entre los valores predichos y observados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La absorción de nitrógeno de la papa estimada por el índice de N de Bolivia se correlacionó con la absorción observada en todos estos estudios (Figura 1; $p \leq 0.001$) y el modelo fue preciso en la predicción de absorción real del cultivo medida en los sitios de Cochabamba y Patacamaya. La media de los rendimientos de los tubérculos de papa fresca se correlacionó significativamente con la absorción de N observada en estos sitios representativos (Figura 2; $p \leq 0.001$). En otras palabras, para los rendimientos de tubérculos más altos, más nitrógeno necesita estar en el sistema para satisfacer las necesidades

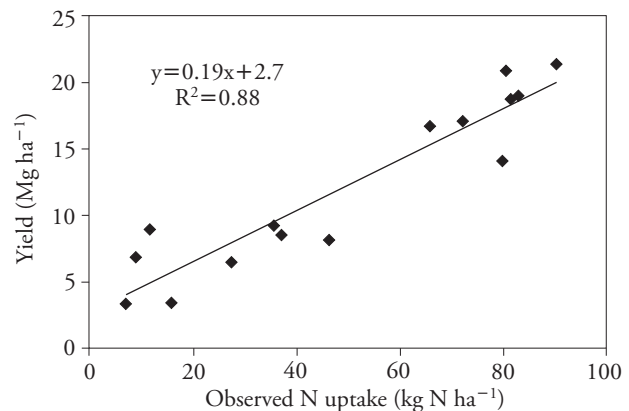


Figure 2. Mean fresh potato tuber yields at harvest versus observed nitrogen uptake of the cropping system studies used for assessing nitrogen dynamics in these low-input systems from Cochabamba and Patacamaya, Bolivia.

Figura 2. Media de los rendimientos de tubérculos frescos de papa en la cosecha versus absorción de nitrógeno observado de los estudios del sistema de cultivo usado para evaluar la dinámica del nitrógeno en estos sistemas de insumos bajos de Cochabamba y Patacamaya, Bolivia.

due to mineralization of nitrogen from soil organic matter and from organic residues and manures that are being added to the system.

A system that is loaded with N will become saturated, and while this will meet the system's N needs, there will be large quantities of residual nitrate in the soil profile, increasing the potential for N losses and for low N use efficiency. However, this is not what is happening in these low-input systems where there are low applications of organic or inorganic N fertilizer, or both. The N fertilizer inputs are small, but large enough to increase the yields significantly above the control plots (plots with zero nitrogen fertilizer), with minimized nitrogen losses to the environment and the average nitrogen uptake from these sites was nearly twice as much as the N inputs.

This response is due mainly to the fact that nitrogen available from mineralization from crop residue incorporated into the soils has greater nitrogen use efficiency as compared to chemical fertilizer (Delgado *et al.*, 2010). According to Delgado *et al.* (2010), nitrogen losses from crop residue were about three times lower than nitrogen losses from the readily available nitrogen fertilizer. For systems that are left fallow, the mineralization from the native grasses and nitrogen in the organic matter is increased when cultivated, providing significant nitrogen, with higher efficiency and a reduced need for nitrogen inputs (Delgado and Follett, 2002; Delgado *et al.*, 2010).

The N index also provided an assessment of N losses to the environment. Nitrate leaching losses were minimal, from 0 to 5 kg NO₃-N ha⁻¹. This is in agreement with the results that the average N uptake from these sites was at nearly twice as much as the N input (equivalent to a high N use efficiency). This is also in agreement with results from studies about nitrate leaching assessments of dryland cropping systems such as those in the Great Plains of the USA (Westfall *et al.*, 1996; Evans *et al.*, 1994; Williams and Kissel, 1991). Precipitation rates for the Bolivian studies were 334 and 316 mm for Patacamaya during the first and second years of the study, respectively. The average annual precipitation for Cochabamba was 400 mm. The minimal nitrate leaching for these systems is in agreement with that from Williams and Kissel (1991), who report a threshold of 404 mm for minimal nitrate leaching in the Great Plains systems.

del cultivo (Figura 2; $p \leq 0.001$). Esta respuesta es similar a estudios que muestran una respuesta en rendimiento al manejo del N y mayores insumos de nitrógeno (Essah y Delgado, 2009).

El índice de N de Bolivia calcula el nitrógeno disponible en el sistema al estimar la mineralización del nitrógeno desde la materia orgánica del suelo, así como la mineralización de nitrógeno desde residuos del cultivo anterior y de las sustancias orgánicas. El índice de N luego suma las estimaciones de mineralización de nitrógeno para estos compartimentos orgánicos con otros insumos de nitrógeno, como el nitrógeno atmosférico, precipitación y fertilizante de nitrógeno aplicado. Absorción del cultivo se calcula por el índice de N.

Estos resultados de tener más N eliminado por absorción del cultivo que el aplicado al sistema, muestran que rendimientos mayores y eficiencia mayor en el uso de N pueden obtenerse en un sistema que tiene bajas pérdidas de N al medioambiente. Por ejemplo, el insumo promedio de N de fertilizantes nitrogenados orgánicos e inorgánicos en estos 15 sitios fue 27.0 kg N ha⁻¹. Sin embargo, la absorción promedio de N de estos sitios fue 49.9 kg N h⁻¹, como dos veces más. El ciclo promedio de nitrógeno de los sistemas para estos sitios estimado con el índice de N fue 70.4 kg N ha⁻¹. Estos sistemas son bajos en insumos de nitrógeno, y el cultivo extrae nitrógeno del sistema debido a la mineralización del N de la materia orgánica del suelo y de los residuos orgánicos y abonos que se añaden al sistema.

Un sistema que se carga con N se saturará, y aunque satisfaga las necesidades de N del sistema, habrá grandes cantidades de nitrato residual en el perfil del suelo, aumentando el potencial de pérdidas de N y baja eficiencia en el uso de N. Sin embargo, esto no sucede en estos sistemas de bajos insumos donde hay bajas aplicaciones de fertilizante de N orgánico o inorgánico, o ambos. Los aportes de fertilizantes nitrogenados son pequeños, pero lo suficientemente grandes como para aumentar de manera significativa los rendimientos los cuales son mayores a los de las parcelas testigo (parcelas con cero fertilizantes nitrogenados), con pérdidas de nitrógeno minimizadas para el medioambiente y la absorción promedio de nitrógeno de estos sitios fue casi el doble de los aportes de N.

Esta respuesta se debe principalmente al hecho de que el nitrógeno disponible de la mineralización del

The N index's estimate of the N uptake of potato was correlated with the N index's estimate of the total N available in the system (Figure 3; $p \leq 0.001$). The potato crop will use a larger amount of N if more N is available. Similarly, there was a positive correlation between nitrogen available in the system and observed tuber yields (Figure 5; $p \leq 0.001$).

This evaluation of the Bolivia N index showed that there is potential to assess the N available in these systems, and that there is a correlation between potato yields and N uptake. The assessment suggests a strong correlation between yield and the total nitrogen available in the system. The Bolivia N index can be used to quickly assess the potential nitrogen available from soil organic matter, organic manures, and fertilizer, avoiding the need for costly and time-consuming measurements.

Figuerola *et al.* (2011) used the Mexican N index to evaluate the nitrogen dynamics of forage systems in Mexico, which often have large quantities of organic manure added to them. The index was able to predict soil nitrogen dynamics by accurately predicting the nitrogen uptake for the forage system and residual nitrate in the soil profile ($p \leq 0.05$). The N index was also used to predict nitrate leaching losses from irrigated systems of a Mediterranean region in Spain with a large amount of nitrogen input into the systems (De Paz *et al.*, 2009). This is the first time the index was used to evaluate low-input sustainable systems, and the results suggest that the index can be used in Bolivia and other Andean regions (Monar *et al.*, 2013) to evaluate N dynamics.

As Bolivia is the poorest country in South America, and poverty and agricultural production are related to one another, enhanced agricultural productivity has strong potential to benefit rural locations, where poverty is highest. This paper demonstrates that enhanced nitrogen management and increases in nitrogen inputs into potato production systems will significantly increase yields and improve the standard of living of families across rural Bolivia.

This is the first time that the N index was used to evaluate potato systems from low-input agricultural systems in the Andean region of Bolivia. The N index can be used to quickly conduct an analysis across the soils of this region and help users determine how nitrogen needs to be applied to optimize yields. The index is available as a mobile application for smartphone and tablet systems; the

residuo del cultivo incorporado en los suelos tiene mayor eficiencia en el uso de nitrógeno, comparado con los fertilizantes químicos (Delgado *et al.*, 2010). Según Delgado *et al.* (2010), las pérdidas de nitrógeno de los residuos del cultivo fueron casi tres veces menores que las pérdidas de nitrógeno de fertilizante nitrogenado fácilmente disponible. Para los sistemas en barbecho, la mineralización desde las gramíneas nativas y del nitrógeno en la materia orgánica aumenta cuando se cultiva, proporcionando gran cantidad de nitrógeno, con una mayor eficiencia y una menor necesidad de insumos de nitrógeno (Delgado y Follett, 2002; Delgado *et al.*, 2010).

El índice N también proporcionó una evaluación de las pérdidas de N en el medioambiente. Pérdidas por lixiviación de nitratos fueron mínimas, de 0 a 5 kg $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$. Esto está de acuerdo con los resultados de que la absorción media de N de estos sitios fue casi dos veces más que el aporte de N (equivalente a una alta eficiencia en el uso de N). Esto también está de acuerdo con los resultados de estudios sobre las evaluaciones de lixiviación de nitratos de los sistemas de cultivo de secano como los de las Grandes Planicies de EE.UU. (Westfall *et al.*, 1996; Evans *et al.*, 1994; Williams y Kissel, 1991). Los índices de precipitación para los estudios bolivianos fueron 334 y 316 mm en Patacamaya durante el primer y segundo año del estudio, respectivamente. La precipitación media anual en Cochabamba fue 400 mm. La mínima lixiviación de nitrato para estos sistemas está de acuerdo con la de Williams y Kissel (1991), quienes reportan un umbral de 404 mm para la lixiviación de nitrato mínima en los sistemas de las Grandes Llanuras.

La estimación del índice N de la absorción de N de la papa se correlacionó con la estimación del índice N del N total disponible en el sistema (Figura 3; $p \leq 0.001$). El cultivo de papa utilizará una gran cantidad de N si más nitrógeno está disponible. De manera similar, hubo una correlación positiva entre el nitrógeno disponible en el sistema y los rendimientos de tubérculos observados (Figura 5; $p \leq 0.001$).

Esta evaluación del índice N de Bolivia mostró que hay potencial para evaluar el N disponible en estos sistemas, y que hay una correlación entre los rendimientos de papa y la absorción de N. La evaluación sugiere una fuerte correlación entre el rendimiento y N total disponible en el sistema. El índice N de Bolivia puede utilizarse para evaluar rápidamente el

mobile application can be used right in the field and can email the results of a run to any desktop or laptop computer (Delgado *et al.*, 2013). As a result of this easy access, personnel on the ground can use the index to assess the risk of nitrogen losses from the system and increase yields (Figures 1, 2, 3, 4, 5).

There is potential to increase nitrogen applications in these systems without increasing nitrogen losses to the environment, as long as conservation agriculture is also applied to avoid potentially increasing erosion. Future plans include testing a sustainability index that has also been added to the Bolivia N index (Monar *et al.*, 2013). The use of quick and simple assessment index such as the Bolivia N index can help users identify management alternatives.

CONCLUSIONS

The results suggest that the Bolivia N index can accurately assess N dynamics and uptake in vulnerable, high-elevation Andean potato cropping systems. The study also identified clear potential gains from improved N management. The N index can be used to estimate the N uptake needs of the potato systems. This index can help evaluate nitrogen management practices, nitrogen losses from the system, and uptake of nitrogen fertilizer applications.

potencial de nitrógeno disponible de la materia orgánica del suelo, abonos orgánicos, y fertilizantes, evitando la necesidad de medidas costosas y consumidoras de tiempo.

Figuroa *et al.* (2011) utilizaron el índice N de México para evaluar la dinámica del nitrógeno de los sistemas forrajeros en México, que a menudo tienen grandes cantidades de abono orgánico añadido a ellos. El índice pudo predecir la dinámica del nitrógeno del suelo pronosticando con precisión la absorción de nitrógeno por el sistema forrajero y del nitrato residual en el perfil del suelo ($p \leq 0.05$). El índice de N también se usó para predecir las pérdidas por lixiviación de nitratos procedentes de los sistemas de riego de una región mediterránea en España con una gran cantidad de insumos de nitrógeno en el sistema (De Paz *et al.*, 2009). Esta es la primera vez que se usó el índice para evaluar los sistemas sustentables de bajos insumos, y los resultados sugieren que el índice puede usarse en Bolivia y otras regiones andinas (Monar *et al.*, 2013) para evaluar la dinámica del N.

Como Bolivia es el país más pobre de América del Sur, y la pobreza y la producción agrícola están relacionadas entre sí, la productividad agrícola mejorada tiene un fuerte potencial para beneficiar a las localidades rurales, donde la pobreza es más grande.

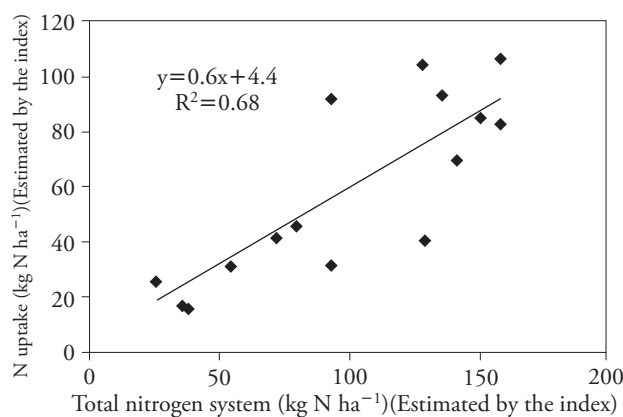


Figure 3. Potato nitrogen uptake (estimated with the Nitrogen Index) versus total available nitrogen in the system (estimated with Nitrogen Index) for Bolivian cropping systems.

Figura 3. Absorción del nitrógeno de la papa (estimado con el Índice de Nitrógeno) versus nitrógeno disponible total en el sistema (estimado con el Índice de Nitrógeno) para los sistemas bolivianos de cultivo.

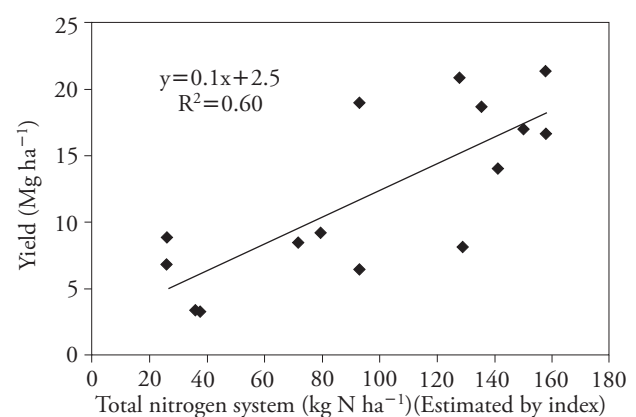


Figure 4. Fresh potato tuber yields at harvest (observed) versus total available nitrogen in the cropping system (estimated with Nitrogen Index) for Bolivian potato systems.

Figura 4. Rendimiento de tubérculos de papa fresca en la cosecha (observado) versus nitrógeno disponible total en el sistema de cultivo (estimado con el Índice de Nitrógeno) para los sistemas bolivianos de papa.



Figure 5. An assessment for these low-input sustainable system shows that the total nitrate leaching is minimal.

Figure 5. Una evaluación para estos sistemas sustentables de bajos insumos muestra que el lixiviado total de nitratos es mínimo.

LITERATURE CITED

- Alwang, J., G. W. Norton, V. Barrera, and R. Botello. 2013. Conservation agriculture in the Andean highlands: Promise and precautions. *In*: Mann, S. (ed). *The Future of Mountain Agriculture*. Springer-Verlag, New York. pp: 21-38.
- Bottner, P., M. Pansu, L. Samiento, D. Herve, R. Callisaya-Bautista, and K. Metselaar. 2006. Factors controlling decomposition of soil organic matter in fallow systems of the high tropical Andes: A field simulation approach using ^{14}C - and ^{15}N -labelled plant material. *Soil Biol. Biogeochem.* 38: 2162-2177.
- Couteaux, M. M., D. Herve, and V. Mita. 2008. Carbon and nitrogen dynamics of potato residues and sheep dung in a two-year rotation cultivation in the Bolivian Altipano. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis* 39: 475-498.
- De Paz, J. M., J. A. Delgado, C. Ramos, M. J. Shaffer, and K. K. Barbarick. 2009. Use of a new Nitrogen Index—GIS assessment for evaluation of nitrate leaching across a Mediterranean region. *J. Hydrol.* 365: 183-194.
- Delgado, J. A., and R. F. Follett. 2002. Carbon and nutrient cycles. *J. Soil Water Conservation* 57(6): 455-464.
- Delgado, J. A., and R. F. Follett. 2010. *Advances in Nitrogen Management for Water Quality*. SWCS. Ankeny, IA. 424 p.
- Delgado, J. A., S. J. Del Grosso, and S. M. Ogle. 2010. ^{15}N Isotopic crop residue cycling studies suggest that IPCC methodologies to assess N_2O -N emissions should be reevaluated. *Nutrient Cycling in Agroecosys.* 86: 383-390.
- Delgado, J. A., P. M. Groffman, M. A. Nearing, T. Goddard, D. Reicosky, R. Lal, N. R. Kitchen, C. W. Rice, D. Towery,

Este estudio muestra que mejorar el manejo del nitrógeno y aumentar los aportes de nitrógeno a los sistemas de producción de papa aumentará significativamente los rendimientos y mejorará el nivel de vida de las familias en la Bolivia rural.

Esta es la primera vez que el índice de N se usó para evaluar sistemas de papa de los sistemas agrícolas en la región andina de Bolivia. El índice N puede usarse para realizar rápidamente un análisis por todos los suelos de esta región y ayudar a los usuarios a determinar cómo se debe aplicar el nitrógeno para optimizar los rendimientos. El índice está disponible como una aplicación móvil para sistemas de teléfonos inteligentes y tablets; la aplicación móvil puede utilizarse bien en el campo y los resultados pueden enviarse por correo electrónico a cualquier computadora de escritorio o laptop (Delgado *et al.*, 2013). Como resultado de este fácil acceso, el personal en tierra puede utilizar el índice para evaluar el riesgo de pérdida de nitrógeno del sistema y aumentar los rendimientos (Figuras 1, 2, 3, 4, 5).

Hay potencial para aumentar las aplicaciones de nitrógeno en estos sistemas sin aumentar las pérdidas de nitrógeno incorporándose al medioambiente, siempre y cuando también se aplique la agricultura de conservación para evitar la erosión que potencialmente podría aumentar. Los planes futuros incluyen

- and P. Salon. 2011. Conservation practices to mitigate and adapt to climate change. *J. Soil Water Conservation* 66(4): 118A-129A.
- Delgado, J. A., K. D. Kowalski, and C. Tebbe. 2013. The first Nitrogen Index app for mobile devices: Using portable technology for smart agricultural management. *Computers and Electronics Agric.* 91: 121-123.
- Delgado, J. A., M. Shaffer, C. Hu, R. S. Lavado, J. Cueto-Wong, P. Joosse, X. Li, H. Rimski-Korsakov, R. Follett, W. Colon, and D. Sotomayor. 2006. A decade of change in nutrient management: A new nitrogen index. *J. Soil Water Conservation* 61: 66A-75A.
- Delgado, J. A., M. Shaffer, C. Hu, R. Lavado, J. Cueto-Wong, P. Joosse, D. Sotomayor, W. Colon, R. Follett, S. Del Grosso, X. Li, and H. Rimski-Korsakov. 2008. An index approach to assess nitrogen losses to the environment. *Ecol. Eng.* 32: 108-120.
- Essah, S. Y. C., and J. A. Delgado. 2009. Nitrogen management for maximizing tuber yield, quality and environmental conservation. *In: Yanful, E. Y. (ed). Appropriate Technologies for Environmental Protection in the Developing World.* Springer-Verlag. The Netherlands. pp: 307-315.
- Evans, S. D., G. A. Pererson, D. T. Westfall, and E. McGee. 1994. Nitrate leaching in dryland agroecosystems as influenced by soil and climate gradients. *J. Environ. Quality* 23: 999-1005.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2009. Conservation Agriculture. FAO Agriculture and Consumer Protection Department. <http://www.fao.org/ag/ca/> (Access: March 2013).
- Figuroa V., U., J. A. Delgado, J. A. Cueto-Wong, G. Nunez-Hernandez, D. G. Reta-Sanchez, and K. A. Barbarick. 2011. A new Nitrogen Index to evaluate nitrogen losses in intensive forage systems in Mexico. *Agric. Ecosys. Environ.* 142: 352-364.
- Lal, R., J. A. Delgado, P. M. Groffman, N. Millar, C. Dell, and A. Rotz. 2011. Management to mitigate and adapt to climate change. *J. Soil Water Conservation* 66: 276-285.
- Monar B., C. M., A. K. Saavedra R., L. O. Escudero L., J. A. Delgado, J. Alwang, V. Barrera, and R. Botello. 2013. Positive impacts in soil and water conservation in an Andean region of South America: Case scenarios from a US Agency for International Development multidisciplinary cooperative project. *J. Soil Water Conservation* 68: 25-30.
- Pestalozzi, H. 2000. Sectoral fallow systems and the management of soil fertility: The rationality of indigenous knowledge in the high Andes of Bolivia. *Mountain Res. Develop.* 20(1): 64-71.
- Sarmiento, L., and P. Bottner. 2002. Carbon and nitrogen dynamics in two soils with different fallow times in the high tropical Andes: Indications for fertility restoration. *Appl. Soil Ecol.* 19: 79-89.
- probar un índice de sustentabilidad que también se agregaría al índice de N de Bolivia (Monar *et al.*, 2013). El uso de índices de evaluación simples y rápidos como el índice N de Bolivia pueden ayudar a los usuarios a identificar alternativas de manejo.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que el índice de N de Bolivia puede evaluar con precisión la dinámica y la absorción del nitrógeno en los sistemas andinos de alta elevación de cultivos vulnerables de papa. El estudio también identificó claras ganancias potenciales a partir de un manejo mejorado del nitrógeno. El índice de N puede utilizarse para estimar las necesidades de absorción de nitrógeno de los sistemas de papa. Este índice puede ayudar a evaluar las prácticas de manejo del nitrógeno, pérdidas de nitrógeno de los sistemas, y absorción de las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados.

—Fin de la versión en Español—



- SAS Institute. 1988. SAS/STAT Users Guide. Version 6.03, Third Edition. SAS Institute. Cary, NC.
- Silici, L. 2010. Conservation Agriculture and Sustainable Crop Intensification in Lesotho. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy. 74 p.
- Thiombiano, L., and M. Meshack. 2009. Scaling-up Conservation Agriculture in Africa: Strategy and Approaches. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Sub Regional Office for Eastern Africa. Addis Ababa, Ethiopia. 35 p.
- Westfall, D. G., J. L. Havlin, G. W. Hergert, and W. R. Raun. 1996. Nitrogen management in dryland cropping systems. *J. Prod. Agric.* 9: 192-199.
- Williams, J. R., and D. E. Kissel. 1991. Water percolation: An indicator of nitrogen-leaching potential. *In: Follett, R. F., D. R. Keeney, and R. M. Cruse (eds). Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability.* SSSA. Madison, WI. pp: 59-83.