

INTENSIDAD EN EL USO DE FERTILIZANTES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2006-2012)

Giovanni E. Reyes¹ y Julián David Cortés²

RESUMEN

Uno de los desafíos del concepto de desarrollo sustentable, es la gestión y conservación de los recursos y sistemas naturales renovables, entre ellos el suelo y el agua. Es en ese sentido que la utilización de fertilizantes es importante, por cuanto puede alterar los ecosistemas edáficos. El objetivo de esta investigación fue determinar en un plano comparativo la intensidad en el uso de fertilizantes en los países de América Latina y el Caribe durante el período 2006-2012. La principal fuente de consulta fue el anuario estadístico de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). La estrategia metodológica contó con cinco fases: 1) Caracterización estático-comparativa, 2) Análisis de conglomerados o clúster, 3) Análisis Z, 4) Comparaciones de rangos obtenidos por los países en función de los grupos que pertenecen, y construcción de dendrograma, y 5) Modelos de regresión múltiples. Los resultados indican que los países de menor superficie son los que utilizan con más intensidad los fertilizantes. Este rasgo es particularmente evidente en países del Caribe. Uno de los factores explicativos del menor uso relativo de fertilizantes por área en las naciones más grandes, sería la constitución y prevalencia del modelo agrícola de la "hacienda latinoamericana". En este tipo de estructura productiva, la generación de renta de las explotaciones se logra más mediante lo extensivo de las mismas que en función de una utilización tecnificada de los recursos, incluyendo el uso de fertilizantes.

Palabras clave: Agricultura latinoamericana, desarrollo rural, revolución verde

ABSTRACT

Intensity of fertilizer use in Latin America and the Caribbean (2006-2012)

One of the challenges of the sustainable development concept is the management and conservation of renewable natural resources, including soils and water. Hence, the use of fertilizers is important, since they can alter the edaphic ecosystems. The aim of this research was to determine in a comparative way the fertilizers intensity use in Latin American and the Caribbean countries from 2006 to 2012. The main source of consultation was the statistical yearbook of the United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). The methodological strategy consisted of five phases: 1) Static-comparative characterization, 2) Cluster analysis, 3) Z analysis, 4) Comparisons of ranges obtained by the countries according to the groups they belong, and building of a dendrogram, and 5) Multiple regression models. The results indicate that the countries with smallest surfaces are those where the use fertilizers is most intensive. This trait is particularly evident in the Caribbean. One of the explanatory factors in this regard the relatively less use of fertilizers by area in the larger nations, would be the establishment and prevalence of the agricultural model of "Latin American hacienda" system. In this type of productive structure, incomes are achieved through large extensions of the farm, rather than depending on a tech use, including the use of fertilizers.

Additional key words: Green revolution, Latin American agriculture, rural development.

INTRODUCCIÓN

La expansión de la frontera agrícola ha sido una de las actividades antropogénicas de mayor impacto sobre los ecosistemas debido a la diversificación de cultivos, los procesos de irrigación, y el uso de pesticidas y fertilizantes. Esto, con el fin de suplir la demanda de alimentos destacada por el incremento de la población

mundial (Lee et al., 2014).

Una de las estrategias desplegadas por los gobiernos y el sector privado con el fin de lograr esta magnitud de producción, ha sido el uso de fertilizantes, de tal modo, que en la actualidad el 50 % de la población mundial depende de fertilizantes, especialmente nitrogenados, para la producción de alimentos (Singh et al., 1995; Ladha et al., 2005)

Recibido: Junio 11, 2016

Aceptado: Diciembre 26, 2016

¹ Doctorado en Ciencias, Esc. Administración, Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia. e-mail: giovanni.reyes@urosario.edu.co

² Escuela de Administración. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia. e mail: julian.cortess@urosario.edu.co

El direccionamiento principal del uso de fertilizantes ha sido incrementar la producción agrícola, una estrategia mundialmente adoptada luego de la consolidación de la “revolución verde” en los Estados Unidos a mediados del siglo XX. Esta trayectoria fue ampliamente apoyada por la FAO después de que afirmara que los efectos de los fertilizantes sobre el ambiente humano eran en su mayoría positivos (FAO, 1972). Sin embargo, en la actualidad el uso de fertilizantes ha generado importantes efectos colaterales.

En un primer plano, Albaugh et al. (2015) concluyen que el uso de fertilizantes en plantaciones forestales mejora los índices de crecimiento de plantas como el eucalipto, utilizado intensivamente en la carpintería, y la construcción, así como para combatir la salinidad y estabilizar los suelos en las orillas de los ríos. Por su lado, Correa et al. (2001) sostienen que el rendimiento de algunos cultivos y su vulnerabilidad a enfermedades y plagas están asociados a la deficiencia de nutrientes en el suelo, por tanto, el uso de fertilizantes contrarresta problemas debidos a debilidades en la planta; por ejemplo, el bajo crecimiento de las hojas del cultivo de arroz está asociado a la carencia del silicio necesario para el buen desarrollo y mejora de la producción. En esta misma línea, Armendáriz et al. (2012) afirman que la adición de fertilizantes comerciales en el arroyo La Choza en Argentina, incrementó la abundancia de biomasa de diferentes especies de anélidos contribuyendo con la riqueza este grupo taxonómico de la zoología.

En un segundo plano, Hedwall et al. (2013) encontraron que el uso de nitrógeno en bosques con áreas de baja concentración puede alterar las propiedades de la vegetación. También, el uso de fertilizantes en cultivos y plantaciones altera los cuerpos de agua, trastornando así su dinámica ecológica e impactando negativamente la capacidad de los ecosistemas para generar servicios (Galloway et al., 2003). Sobre esta misma línea, el uso de fertilizantes en zonas específicas como secanos semiáridos ha resultado ineficiente para incrementar la productividad (Pardo et al., 2005). En síntesis, las evidencias presentadas sugieren que los efectos en el uso de fertilizantes no son homogéneos.

Por estos motivos, es de relevancia continuar contribuyendo a la construcción de marcos

institucionales a partir de evidencia rigurosa y refinada sobre la producción y uso de fertilizantes. Para el plano de la región de América Latina y el Caribe (ALC), algunos de los organismos que han contribuido en esta tarea han sido la FAO y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), así como la Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA), el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI) y el Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI).

En el caso de la FAO y la CEPAL, ambos organismos han generado tanto informes sobre tendencias mundiales y perspectivas del uso de los fertilizantes (FAO, 2015), como datos estadísticos desde 1961 hasta la actualidad relacionados con la intensidad de uso de fertilizantes (CEPAL, 2015). Así, se identifica un vacío en la literatura relacionado a la disponibilidad de perfiles nacionales detallados y comparados a nivel regional durante un período mayor a cinco años sobre la intensidad de uso de fertilizantes en ALC. Con todo lo anterior, el objetivo de este artículo fue determinar en un plano comparativo la intensidad en el uso de fertilizantes en los países de ALC durante el período 2006-2012.

MATERIALES Y MÉTODOS

El principal acervo de información consultado para el desarrollo de la estrategia metodológica fue el anuario estadístico de la CEPAL (2014). Esta estrategia contó con cinco fases. En una primera fase se estableció una caracterización estático-comparativa. Para ello se determinó cuál era el uso de fertilizantes en los países de ALC en 2006 y luego en 2012, agregándose a continuación el cálculo de variaciones en la utilización de estos fertilizantes al comparar los dos años que representan los extremos de la serie de datos.

En una segunda etapa se llevó a cabo un análisis por agrupaciones o de clúster tanto para el año 2006 como para el año 2012. Para esto se ordenaron los países para cada año en series ordenadas respecto a los valores de utilización de fertilizantes, de mayor a menor. Se procedió a obtener un rango para cada año, el cual se dividió entre cinco, a efecto de determinar los límites de los quintiles correspondientes y allí clasificar a los diferentes países en rangos de alto, moderado alto, intermedio, moderado bajo, y bajo.

En una tercera etapa y como medio de corroborar o fortalecer el análisis mediante agrupaciones, se procedió a aplicar tanto para 2006 como para 2012 y para los datos promedio por cada país de la serie, un análisis de Z. Se trató de medir por medio de esta prueba paramétrica, las distancias de los datos hacia el promedio en función de sus desviaciones estándar.

En una cuarta etapa se establecieron las comparaciones de rangos de lo obtenido por los países en función de los grupos a los que pertenecían. Es decir, los resultados del análisis por agrupaciones, tanto para 2006 como para 2012, se compararon en un análisis conjunto. De esta manera se estableció que países mantenían sus posiciones relativas respecto al uso de fertilizantes, cuales ascendieron y cuales descendieron de posición dentro de la región. Como parte también de la cuarta fase de análisis se determinó un dendrograma, con el cual se logró la formación de diferentes grupos o clúster. Para ello se utilizó la información de toda la serie de datos de uso de fertilizantes por cada país, con la intención de reafirmar los resultados del estudio estático comparativo que se realizó en las primeras tres fases de esa metodología.

En una quinta y última etapa, se establecieron dos modelos de regresión múltiple. En un primer modelo exploratorio de regresión múltiple se determinaron los pesos que tendrían los países en función del uso de fertilizantes considerando el tamaño de las economías (grandes, medianas, pequeñas y muy pequeñas).

En un segundo modelo exploratorio de regresión múltiple se establecieron los pesos que tienen los países en función de las sub-regiones geográficas que conforman ALC. Se establecieron tres agrupaciones por geografía: 1) México, Centroamérica y Caribe, 2) Países andinos (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela), y 3) Naciones de MercoSur (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay) más Chile. En ambos modelos de regresión, presentados como caracterización exploratoria, se anuló la presentación del intercepto dada la naturaleza cualitativa de las variables (variable *dummy*).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización general por países en cuanto a la intensidad de uso de fertilizantes en 2006 y

en 2012, así como las variaciones observadas, se presenta en el Cuadro 1. Uno de los rasgos más llamativos de este cuadro es la contracción o expansión en el uso de fertilizantes por área de cultivo que llevaron a cabo los diferentes países. Los que disminuyeron el consumo de fertilizantes fueron Chile, Honduras, Guyana, Trinidad y Tobago, y hasta cierto punto Costa Rica. Este último país si bien demuestra disminución en el uso de fertilizantes, lo hace en un monto mínimo, el más bajo del grupo. A excepción de los países mencionados que contrajeron el uso de fertilizantes, las demás naciones aumentaron ese indicador. No obstante, entre estos últimos los que más incrementaron ese indicador fueron Belice, Uruguay, Panamá, y muy especialmente Bolivia. Este país andino pasó de utilizar 0,4 a 1,1 kilogramo de fertilizante por cada hectárea cultivada, un aumento importante al comparar datos de 2006 y de 2012.

El Cuadro 2 contiene los resultados del análisis por agrupaciones en 2006 y 2012. No en todos los rangos se tuvo representación de países, debido a que existieron situaciones en las cuales hubo países que se distanciaron significativamente del promedio. A partir de estos resultados, se evidencia que tanto Barbados como Trinidad y Tobago presentan una utilización significativamente alta de fertilizante.

El Cuadro 3 muestra la corroboración, mediante la prueba Z, de los análisis anteriores y se observa que Trinidad y Tobago se separa del resto de países por una distancia de 4,36 desviaciones estándar. También en la zona positiva de las distancias de Z, se destacan, aunque en menor grado, Costa Rica y hasta cierto punto, con menor valor en distancia de desviaciones estándar, El Salvador y Guatemala. Todos los demás países presentan valores por debajo del promedio. Es de notar, en función de los valores de Z, que de los 23 países estudiados sólo cinco se ubicaron por encima del promedio general. El dato para el total de ALC se muestra, como era de esperarse en esas condiciones, por debajo del promedio con un puntaje Z de -0,29.

Luego de realizar los análisis por agrupaciones, el Cuadro 4 muestra un comparativo acerca de las posiciones relativas que tuvieron los países de ALC en cuanto a la intensidad en el uso de fertilizantes. Es de notar que casi todos los países, no sólo se ubicaron en una situación de

mantenimiento de las posiciones relativas, sino bajo uso de fertilizante. que conformaron, en número de 20, el grupo de

Cuadro 1. Caracterización general y variaciones observadas en la intensidad de uso de fertilizantes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de los países de América Latina y el Caribe en el período 2006-2012

País	Utilización de fertilizante		Variación de consumo 2012-2006 (%)
	2006	2012	
Argentina	10,2	10,3	1,0
Barbados	112,9	136,4	20,8
Belice	41,1	58,9	43,3
Bolivia	0,4	1,1	175,0
Brasil	32,5	45,7	40,6
Chile	40,7	30,3	-25,6
Colombia	25,8	27,7	7,4
Costa Rica	96,2	91,6	-4,8
Ecuador	34,4	37,8	9,9
El Salvador	44,6	77,6	74,0
Guatemala	47,6	54,9	15,3
Guyana	8,2	6,4	-22,0
Honduras	62,7	26,2	-58,2
Jamaica	17,7	22,6	27,7
México	15,1	15,6	3,3
Nicaragua	11,7	15,9	35,9
Panamá	9,3	15,2	63,4
Paraguay	12,8	17,1	33,6
Perú	14,5	17,8	22,8
RepDomin	26,7	30,0	12,4
TriniYTob	471,9	286,7	-39,2
Uruguay	14,2	22,2	56,3
Venezuela	21,2	21,7	2,4
Total ALC	21,4	27,2	27,1

Cuadro 2. Análisis por agrupaciones sobre la intensidad y variaciones en el uso de fertilizantes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en países de América Latina y el Caribe

Año	País	Uso de fertilizante	Grupo*	Promedio de uso de fertilizante por grupo
2006	Trini y Tob	471,9	Alto	471,9
	Barbados	112,9	Moderado a bajo	112,9
	Resto de países	96,2 a 0,4	Bajo	27,7
2012	Trini y Tob	286,7	Alto	286,7
	Barbados	136,4	Intermedio	136,4
	Costa Rica	91,6	Moderado a bajo	84,6
	El Salvador	77,6		
	Resto de países	58,9 a 1,1	Bajo	25,2

* Basado en quintiles respecto al rango de observaciones.

Cuadro 3. Prueba de Z de los análisis por agrupaciones sobre la intensidad y variaciones en el uso de fertilizantes en países de América Latina y el Caribe en 2006 y 2012

País	Puntaje de Prueba Z (2006)	Puntaje de Prueba Z (2012)	Promedio de Puntajes Z
Argentina	-0,42	-0,59	-0,51
Barbados	0,67	1,52	0,89
Belice	-0,09	0,22	-0,02
Bolivia	-0,53	-0,75	-0,65
Brasil	-0,18	0,00	-0,07
Chile	-0,10	-0,26	-0,03
Colombia	-0,25	-0,30	-0,29
Costa Rica	0,49	0,77	0,63
Ecuador	-0,16	-0,13	-0,12
El Salvador	-0,05	0,53	0,33
Guatemala	-0,02	0,15	0,03
Guyana	-0,44	-0,66	-0,54
Honduras	0,14	-0,33	-0,11
Jamaica	-0,34	-0,39	-0,42
México	-0,37	-0,50	-0,43
Nicaragua	-0,41	-0,50	-0,48
Panamá	-0,43	-0,51	-0,48
Paraguay	-0,39	-0,48	-0,43
Perú	-0,38	-0,47	-0,42
RepDomin	-0,25	-0,26	-0,23
TriniYTob	4,49	4,03	4,36
Uruguay	-0,38	-0,39	-0,41
Venezuela	-0,30	-0,40	-0,31
Total ALC	-0,30	-0,31	-0,29

Cuadro 4. Posiciones relativas que tuvieron los países de América Latina y el Caribe en la intensidad de uso de fertilizantes en 2006 y 2012

Año	Posición	2012				
		Bajo	Moderado bajo	Intermedio	Moderado alto	Alto
2006	Bajo	***	↑ COS; ELS	-	-	-
	Moderado bajo	-	-	↑ BAR	-	-
	Intermedio	-	-	-	-	-
	Moderado alto	-	-	-	-	-
	Alto	-	-	-	-	= TYT

*** Representan a los países que se mantienen en la más baja posición (América Latina y el Caribe, Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guatemala, Guyana, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela). ↑ Suben en su posición de 2006 a 2012; = Mantienen igual posición. COS: Costa Rica; ELS: El Salvador; BAR: Barbados; TYT: Trinidad y Tobago

Se observa que la mayoría de los países se mantuvieron en la más baja posición, independientemente de que varios de ellos mostraron variaciones en cuanto al consumo de fertilizantes, tal como se observa en el Cuadro 1. Asimismo, hubo países que ascendieron en su posición y pasaron de bajo a moderado bajo (Costa Rica y El Salvador) o de moderado bajo a

intermedio (Barbados). En la categoría alta se mantuvo Trinidad y Tobago. Estos resultados van marcando la tendencia, especialmente en función de los países caribeños y centroamericanos, según la cual las economías de pequeños mercados relativos, de pequeña extensión de sus territorios, son los que muestran un uso más intenso de fertilizantes (FAO, 2011).

En la Figura 1, el dendrograma confirma la situación expresada con anterioridad. Trinidad y Tobago es el país que se integra de manera última o segregante al dendrograma total. Además, son los países de Costa Rica y Barbados, los que tienen la integración penúltima en los agregados del gráfico, siempre en las posiciones casi finales del mismo. El hecho de que el dendrograma integra en un mismo grupo a Barbados y Costa Rica mientras que en el análisis por agrupaciones los separó en grupos diferentes se atribuye a que en el primero se tomó en cuenta toda la serie de datos que van desde 2006 hasta 2012.

En el Cuadro 5 se presentan los valores del modelo de regresión múltiple en el cual se utilizaron variables cualitativas con el fin de establecer si los tamaños de la economía de los países mostraban incidencia en el uso intensivo de los fertilizantes. Al respecto, fue posible identificar que el tamaño de las economías está asociado significativamente ($P \leq 0,001$) al uso de fertilizantes. En especial, las economías más pequeñas presentaron el mayor coeficiente regresor (coeficiente $d = 216,47$). Gerald et al. (2013) presentan un estudio que amplía estos conceptos, para el caso particular de Colombia.

En el Cuadro 6 se muestran los resultados del modelo de regresión múltiple, donde se utilizaron como variables cualitativas exógenas las agrupaciones de países por subregiones. La evidencia de estos resultados muestra que, con una alta probabilidad ($P \leq 0,01$), la subregión de México, Centroamérica y el Caribe tiene el uso más intenso en cuanto a fertilizantes (coeficiente $a = 61,59$).

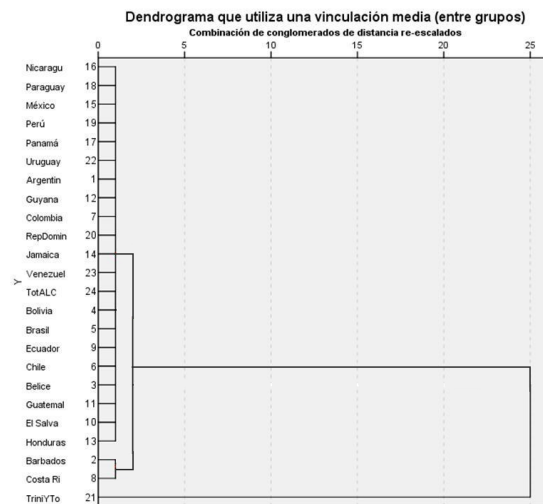


Figura 1. Análisis jerárquico en función de intensidad en el uso de fertilizantes

Cuadro 5. Regresión de intensidad en el uso de fertilizantes y tamaños de economía en la región

Intens. uso fert. = 27,26 Econ. grand. + 23,14 Econ. med. + 30,11 Econ. peq. + 216,47 Econ. muy peq.

Valores de t	2,215 *	2,976 ***	6,472 ***	17,594 ***
--------------	---------	-----------	-----------	------------

$R^2 = 0,687$; $F = 91,298^{***}$; Durbin-Watson $d = 1,645$ ns; $n = 161$

Tamaños de economía considerados como variables cualitativas o *dummy*. Grandes (Brasil y México); Medianas (Argentina, Chile, Colombia, Perú y Venezuela); Pequeñas (Bolivia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, Jamaica, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Rep. Dominicana y Uruguay); Muy pequeñas (Barbados, Belice y Trinidad & Tobago). * = $P \leq 0,05$; *** = $P \leq 0,001$; d/ns indica inexistencia de autocorrelación ($P \leq 0,01$)

En este resultado estaría influyendo el peso de los países con menor extensión territorial, tales como El Salvador, Costa Rica, Belice, Barbados, y Trinidad y Tobago. Estas naciones serían las que estarían incidiendo en el sentido de mostrar que una utilización más intensa del fertilizante, tiende a ocurrir en países de relativamente poca extensión territorial. En el Cuadro 6 también se observa que la probabilidad de la asociación disminuye hacia los países de MercoSur más Chile ($P \leq 0,01$) y hacia los países andinos ($P \leq 0,05$).

Uno de los factores explicativos respecto al

rasgo de menor uso relativo de fertilizantes por área en las naciones más grandes, sería la constitución y prevalencia del modelo agrícola de la llamada “hacienda latinoamericana”.

En este tipo de estructura productiva, la generación de renta de las explotaciones se logra basándose más en lo extensivo de las mismas, que en función de una utilización tecnificada, incluyendo el uso de fertilizantes, que en ellas se hace. De allí el establecimiento de cultivos extensivos como café, cacao y pastizales, o más recientemente, en las últimas tres décadas, de palma de aceite (Gerald et al., 2013).

Cuadro 6. Regresión de intensidad en el uso de fertilizantes y sub-regiones en América Latina y el Caribe

Intes. Uso Fert =	61,59 Méx-CC	+ 20,15 Andinos	+ 24,62 MercoSur+Chile
Valores de t	8,667 ***	1,757 *	2,149 **

$R^2 = 0,329$; $F = 27,612^{***}$; Durbin-Watson $d = 1,231$ * ; $n = 161$

Sub-regiones de América Latina y el Caribe consideradas como variables cualitativas o dummy: Mex-C-C (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, República Dominicana y Trinidad y Tobago); Países Andinos (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela); MercoSur+Chile (Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). * = $P \leq 0,05$, ** = $P \leq 0,01$, *** = $P \leq 0,001$; d/* indica existencia de autocorrelación ($P \leq 0,01$)

CONCLUSIONES

Durante el período de 2006 a 2012, en toda la región de ALC, la intensidad del uso del fertilizante en función de las áreas cultivadas se incrementó en un 27,1 %, al pasar de 21,4 en 2006, a 27,2 toneladas de fertilizante por cada mil hectáreas cultivadas en 2012.

Los países que más aumentaron la utilización de fertilizantes por área cultivada en agricultura fueron Bolivia, Belice, El Salvador, Panamá, Uruguay y Brasil. Esto estaría demostrando, con la excepción de Brasil, que los aumentos particulares de países en el uso de fertilizantes se tienden a concentrar en naciones de reducidas áreas en sus estados.

Aun cuando Trinidad y Tobago tendió a disminuir la utilización de fertilizantes que realizó de 2006 a 2012, continúa siendo el país que con mayor intensidad utiliza el fertilizante en su agricultura. En ese país, se reportó para el año 2012 el uso de 286,7 toneladas de fertilizante por cada mil hectáreas bajo cultivo.

Debido al alto nivel de consumo de fertilizantes en Barbados y en Trinidad y Tobago, seguidos por Costa Rica, Honduras, Guatemala y El Salvador, la subregión que incluye a México, Centroamérica y el Caribe mostró mayores niveles en la utilización de fertilizante, en comparación con el resto de los países de la región.

LITERATURA CITADA

- Albaugh, T., R. Rubilar, R. Fox, L. Allen, J. Urrego, M. Zapata y J. Stape. 2015. Response of *Eucalyptus grandis* in Colombia to mid-rotation fertilization is dependent on site and rate but not frequency of application. *Forest Ecology and Management* 350: 30- 39.
- Armendáriz, L., Ocón, C. y A. Rodrigues. 2012. Potential responses of oligochaetes

(Annelida, Clitellata) to global changes: Experimental fertilization in a lowland stream of Argentina (South America). *Limologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 42(2): 118- 126.

- CEPAL. 2014. Anuario estadístico. <http://goo.gl/St53nK> (consulta del 8/10/2015).
- CEPAL. 2015. Estadísticas de la CEPAL. <http://goo.gl/wzR71q> (consulta del 27/11/2016).
- Correa, F., L. Datnoff, K. Okada, D. Friesen, J. Sanz y G. Snyder. 2001. Effects of silicon fertilization on disease development and yields of rice in Colombia. *Studies in Plant Science*: 313- 321.
- FAO. 1972. Effects of intensive fertilizer use on the human environment. FAO. Rome.
- FAO. 2011. World Fertilizer Trends and Outlook to 2015. FAO. Rome.
- FAO. 2015. World Fertilizer Trends and Outlook to 2018. FAO. Rome.
- Galloway, J., J. Aber, J. Erisman, S. Seitzinger, R. Howarth, E. Cowling y J. Cosby. 2003. The Nitrogen cascade. *BioScience* 53(4): 341- 356.
- Geraldes, E., H. Acevedo y F. Freire. 2013. Greenhouse gas intensity of palm oil produced in Colombia addressing alternative land use change and fertilization scenarios. *Applied Energy* 114: 958- 967.
- Hedwall, P., J. Strengbom y A. Nordin. 2013. Does background nitrogen deposition affect the response of boreal vegetation to fertilization? *Oecologia* 173(2):382- 392.
- Ladha, J., H. Pathak, T. Krupnik, J. Six y C. van Kessel. 2005. Efficiency of Fertilizer Nitrogen in Cereal Production: Retrospects and Prospects. *Advances in Agronomy* 87: 85-156.
- Lee, D., S. Edmeades, E. Denys, A. McDonald y W. Janssen. 2014. Developing local

- adaptation strategies for climate change in agriculture: A priority-setting approach with application to Latin America. *Global Environmental Change* 29: 78- 91.
14. Pardo, G., J. Aibar, F. Villa y C. Zaragoza. 2005. Efecto de distintos tipos de fertilizantes sobre la evolución de nutrientes en el suelo y en la producción de cereales en secano. *ITEA* 101(2): 145-166.
15. Singh, B., Y. Singh y G. Sekhon. 1995. Fertilizer-N use efficiency and nitrate pollution of groundwater in developing countries. *Journal of Contaminant Hydrology* 20(3-4): 167-184.