

Optimización del uso de fertilizantes para el cultivo de café*

Optimizing fertilizer use in coffee crops

Mario Bedoya Cardoso^{1§} y Raquel Salazar Moreno²

¹Economía Agrícola-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, C. P. 56230, Texcoco, Estado de México. ²Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, C. P. 56230, Texcoco, Estado de México. (raquels60@hotmail.com). [§]Autor para Correspondencia: marlio.bedoya@gmail.com.

Resumen

La caída del precio del café en las diferentes bolsas de valores del mundo, hace que esta actividad sea cada vez menos rentable, por los elevados costos de producción. La mano de obra y la fertilización son los factores más importantes en la producción. Por lo anterior, con el presente estudio se busca minimizar los costos por el uso de fertilizantes por hectárea-año, utilizando programación lineal con diferentes fuentes nutricionales que se encuentran disponibles en el mercado del municipio de Gigante en el departamento del Huila en Colombia, teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo propuestos por Sadeghian y González (2012). Los resultados indican que al usar fuentes nutricionales simples se minimizan los costos de fertilización por hectárea-año en 38.52% (US \$329.58) en comparación al empleo de Hydranova un fertilizante compuesto de uso común.

Palabras claves: café, macronutrientes, reducción de costos, requerimientos nutricionales.

El café es uno de los productos de origen agrícola más importantes que se comercializan a nivel internacional, siendo los principales productores del grano tipo arábica y robusta: Brasil, Vietnam, Indonesia, Colombia y Etiopía. Las variables que más influyen en la producción del café son densidad de siembra, edad del plantío, variedad, condiciones agroclimáticas y manejo agronómico, dentro de ésta última

Abstract

The falling price of coffee in different stock exchanges in the world, makes this activity become less profitable due to high production costs. Labor and fertilization are the most important factors in production. Therefore, the present study aims to minimize the costs of fertilizer use per hectare-year, using linear programming with different nutritional sources available in the Gigante municipality market in the Huila department, Colombia, considering crop requirements given by Sadeghian and González (2012). Results indicate that using simple nutritional sources, fertilization costs per hectare-year are minimized in 38.52% (\$ 329.58 USD) compared to using Hydranova, a compound fertilizer of common use.

Keywords: coffee, macronutrients, cost reduction, nutritional requirements.

Coffee is one of the most important agricultural commodities traded internationally, the main arabica and robusta type grain producers are: Brazil, Vietnam, Indonesia, Colombia and Ethiopia. Major variables affecting coffee production are planting density, planting age, variety, growing conditions and crop management, fertilization falls within the latter. According to Sadeghian and González (2012) fertilization aims to maintain or increase organic matter, soil nutrients and plant resistance to stress conditions such as pests, diseases and drought incidence.

* Recibido: febrero de 2014
Aceptado: marzo de 2014

se encuentra la fertilización. De acuerdo con Sadeghian y González (2012) la fertilización busca mantener o aumentar la materia orgánica, nutrientes en el suelo y la resistencia de las plantas a condiciones de estrés como la incidencia de plagas, enfermedades, y sequías.

Existen diversas investigaciones relacionadas con el efecto de los nutrientes en el cultivo del café, algunos autores mencionan que la demanda de nutrientes varía con la etapa de desarrollo del cultivo Echeverri (1994). Sin embargo, la dosis anual recomendada es de 1 000 kg de mezcla de fertilizantes simples para cafetales con rendimiento promedio por año de 5000 Kg ha⁻¹, sin considerar análisis de suelo (Valencia, 1992).

Ribeiro *et al.* (2003) en el estado de bahía en Brasil han utilizado dosis de nitrógeno entre 600 a 800 kg N ha⁻¹ año⁻¹. Por otro lado, Sadeghian y González (2012) en su investigación proponen las siguientes cantidades para un año: 300 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 260 kg ha⁻¹ de potasio (K₂O) y 50 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅), de magnesio (MgO) y azufre (S), para el cultivo del café tecnificado con alta densidad (7 500 y 10 000 plantas ha⁻¹) cuando no se cuenta con análisis de suelo.

La obtención de la máxima productividad con una reducción de los fertilizantes nitrogenados es un gran desafío (Bruno *et al.*, 2011). En la Figura 1 se observa el elevado costo de las principales fuentes nutricionales utilizadas en el cultivo del café, por lo tanto es de gran interés para los productores de este ramo el hacer más eficiente la aplicación de este insumo y al mismo tiempo mantener o incrementar la productividad.

Sadeghian (2008), manifiesta que actualmente los productores de café se enfrentan a un mercado mundial cada vez más competitivo, se hace prioritario revisar los factores que afectan la rentabilidad del cultivo, entre los cuales se incluye el costo de los fertilizantes, cuyas continuas alzas han generado preocupación en Colombia, pues la participación de la fertilización en los costos totales de producción han pasado de 10 a 20%, en los últimos dos años.

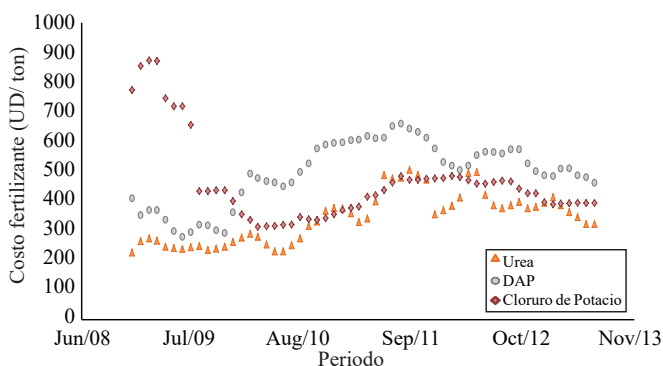
El objetivo de este trabajo es encontrar las dosis de fertilizante óptimas que minimicen el costo por este concepto en la producción de café, proporcionando una recomendación factible a los productores del municipio de Gigante en el departamento del Huila-Colombia.

There are several investigations related to the nutrients effect in coffee cultivation, some authors mention that nutrients demand varies with the crop developmental stage (Echeverri, 1994). However, the recommended annual dose is 1 000 kg of a mixture of simple fertilizers for coffee plantations with a year average of 5000 kg ha⁻¹, regardless of soil analysis (Valencia, 1992).

Ribeiro *et al.* (2003) in the State of Bahia in Brazil have used nitrogen doses between 600 to 800 kg N ha⁻¹ yr⁻¹. Furthermore, Sadeghian and González (2012) in their research suggested the following amounts for a year: 300 kg ha⁻¹ of nitrogen (N), 260 kg ha⁻¹ potassium (K₂O) and 50 kg ha⁻¹ phosphorus (P₂O₅), magnesium (MgO) and sulfur (S), for technified coffee cultivation with high density (7 500 and 10 000 plants ha⁻¹) when lacking soil analysis.

Obtaining maximum productivity with a reduction of nitrogen fertilizers is a big challenge (Bruno *et al.*, 2011). Figure 1 shows the high cost of the main nutritional sources used in coffee crops, thus it is of great interest for producers to make a more efficient application of this input while maintaining or increasing productivity.

Sadeghian (2008), states that coffee producers currently face an increasingly competitive global market, it becomes a priority to review factors affecting the crop profitability, including fertilizer costs, whose continuous increases have generated concern in Colombia, since the contribution of fertilization for total production costs has risen from 10 to 20% in the past two years.



Fuente: IndexMundi.

Figura 1. Costo mensual de los principales fertilizantes en dólar americano (US).

Figure 1. Monthly cost of major fertilizers in U.S. dollars (USD).

Gigante se encuentra ubicado en el departamento del Huila a 2 23' 12.01" latitud norte y 75 32' 45.96" longitud oeste. Según el anuario estadístico agropecuario del departamento del Huila 2012, el municipio de Gigante tenía un área sembrada en café de 5 294 hectáreas, de las cuales 2 396.9 se encuentran en renovación (zoca y siembra), y 2 897.1 hectáreas se encuentran en etapa de producción. Éstas últimas arrojaron una producción de 3 166.8 toneladas de café pergamino seco para este mismo año.

Para abordar el problema de minimización de costos se utilizará la Programación Lineal dada su fortaleza para modelar problemas complejos (Alvarado, 2010), y la posibilidad que tienen los usuarios para resolver modelos de gran escala mediante programas de cómputo basados en el método simplex.

Algunos investigadores tales como Zambrano *et al.* (2005), utilizaron la programación lineal para formulación de mezclas de sustrato y comprobaron que su empleo permite reducir el número de mezclas por analizar hasta 93% en comparación con el método tradicionalmente empleado (ensayo y error).

El problema de minimización de costo por concepto de uso de fertilizantes, se plantea en la expresión (1).

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{20} x_i C_i \quad (1)$$

Sujeto a

$$\begin{aligned} Ax_i &\geq B \\ x_i &\geq 0 \end{aligned}$$

Donde:

Z = Representa el costo de fertilizantes que se desea minimizar;

C_i = Coeficientes de costo de las 20 fuentes nutricionales empleadas (Cuadro 1);

x_i = Fuentes nutricionales (Cuadro 1);

A = Matriz de coeficientes técnicos. La cual representa los aportes nutricionales de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio de las 20 fuentes nutricionales;

B = Requerimientos nutricionales establecidos por Sadeghian y González (2012).

Los fertilizantes simples y compuestos utilizados en programación lineal, se encuentran disponibles en el Cuadro 1. Es importante mencionar que los precios de estas fuentes

The aim of this work is to find the optimal fertilizer dose to minimize costs for this item in coffee production, providing a feasible recommendation to the producers of the Gigante municipality, in the Huila department, Colombia.

Gigante is located in the Huila department at 2 23' 12.01" north latitude and 75 32' 45.96" west longitude. According to the 2012 agriculture statistical yearbook of the Huila department, the Gigante municipality had planted coffee on 5 294 hectares, of which 2 396.9 are in renewal (pruning and planting), and 2 897.1 hectares are in production stage. The latter showed a production of 3 166.8 tons of dry parchment coffee this year.

In order to address the problem of cost minimization, linear programming will be used given its strength in complex problem modelling (Alvarado, 2010), and the possibility for users to solve large-scale models using computer programs based on the simplex method.

Some researchers such as Zambrano *et al.* (2005) used linear programming in substrate mixtures formulation and found that this method allows up to a 93% reduction in the number of mixtures for analysis compared to the conventionally used method (trial and error).

The cost minimization problem due to fertilizer use, appears in the expression (1).

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{20} x_i C_i \quad (1)$$

Subject to

$$\begin{aligned} Ax_i &\geq B \\ x_i &\geq 0 \end{aligned}$$

Where:

Z = Represents fertilizer costs to be minimized;

C_i = Cost coefficients for the 20 nutritional sources used (Table 1);

x_i = nutritional sources (Table 1);

A = Matrix of technical coefficients, which represents the nutritional intake of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, sulfur and magnesium of the 20 nutritional sources;

B = Nutritional requirements established by Sadeghian and González (2012).

están en dólares americanos (US) y fueron consultados el 30 de abril de 2013 en la Cooperativa Central de Cafecultores del Huila Ltda.

Simple and compound fertilizers used in linear programming are available in Table 1. It is important to mention that the prices of these sources are in

Cuadro 1. Fuentes de fertilizantes simples y compuestos.

Table 1. Sources of simple and compound fertilizers.

Variabes	Fuentes nutricionales	Concentraciones (%) (N-P-K-Ca-S-Mg)†	Costo dólares bulto/ 50 kg
x1	Cargil ^c	25-4-24-0-0-0	33.7473
x2	Abotek ^c	15-4-23-0-2-4	38.3369
x3	Tripe 15 ^c	15-15-15-0-0-0	38.3369
x4	Agrocafe (nutrimon) ^c	17-6-18-0-2-2	37.527
x5	Tradición cafetera ^c	17-6-18-3-0-2.8	33.9093
x6	Agrimis ^c	8-5-0-18-1.6-6	37.527
x7	Agriplan cafetero ^c	21-5-18-2-0-0	35.9071
x8	Cafeaza ^c	20-4-18-4-0-0	42.1166
x9	Carge (fosfacol) ^c	17-8-12-9-2-2	36.987
x10	Cloruro de potasio (KCl) ^s	0-0-60-0-0-0	30.2376
x11	CoNplex ^c	27-6-3-0-2-4	37.527
x12	Fosfato de amonio ^c	18-45-0-0-0-0	35.6371
x13	Hydranova ^c	19-4-19-0-1.8-3	37.527
x14	Kafertil ^c	24-3-20-3-4-0	34.3952
x15	Remital ^c	17-6-18-0-1.6-2	37.257
x16	SAM (sulfato de amonio) ^s	21-0-0-0-24-0	21.0583
x17	Urea ^s	46-0-0-0-0-0	28.0778
x18	Producción (Nutrifer) ^c	24-3-20-3-4-0	34.4492
x19	Quimifos ^c	3-3-3-14-7-3	37.257
x20	Sulfato de magnesio ^s	0-0-0-0-13-16	31.3175
Requerimientos (kg/ha/año)		300-50-260-0-50-50	

C= fertilizantes simples; S= fertilizantes compuestos; †(N= nitrógeno; P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio; S= azufre; Mg= magnesio).

El modelo de programación lineal planteado en (1) se resolvió utilizando el programa Lindo 6.1, los resultados obtenidos se sintetizan en el Cuadro 2, al multiplicar las cantidades de fertilizantes obtenidas (Cuadro 2 columna 4), por el precio de cada fuente nutricional (Cuadro 1, columna 4), se obtiene el costo/ hectárea/año para la fertilización del cultivo de café de \$ 885.52 dólares americanos (US).

Las cantidades de fuentes nutricionales que minimizan los costos de fertilización en el cultivo de café son 8.67 bultos de cloruro de potasio, 2.22 bultos de fosfato

U.S. dollars (USD) and were consulted on April 30th, 2013 in Huila Coffee Growers Central Cooperative Ltd.

The linear programming model proposed in (1) was solved using the Lindo 6.1 software, the results obtained are summarized in Table 2, by multiplying the quantities of fertilizers obtained (Table 2 column 4) by the price of each food source (Table 1, column 4), the cost/hectare/year obtained is \$ 885.52 USD for fertilization of coffee crops.

de amonio, 0.78 de sulfato de amonio, 11.82 bultos de urea y 6.25 bultos de sulfato de magnesio (Cuadro 2, Columna 4).

En el Cuadro 3 se hace una comparación económica utilizando las fuentes y cantidades seleccionadas por el programa Lindo 6.1 (óptimas) con dos de los fertilizantes de uso común empleados en Colombia para fertilizar el cultivo del café.

The amounts of nutritional sources minimizing fertilization costs in coffee crops are 8.67 bags of potassium chloride, 2.22 of ammonium phosphate, 0.78 of ammonium sulfate, 11.82 of urea and 6.25 of magnesium sulfate (Table 2, column 4).

In Table 3, an economic comparison is made using the sources and amounts selected by the Lindo 6.1 software (optimal) with two fertilizers commonly used for coffee crops in Colombia.

Cuadro 2. Cantidades de fuentes a utilizar en la fertilización del cultivo del café.

Table 2. Quantities of sources used in the fertilization of coffee crops.

Variabes	Fuentes nutricionales	Cantidad a utilizar (kg)	Bultos (50 kg)	Costo Reducido dólares (kg).
x1	Cargil	0		0.0837
x2	Abotek	0		0.1601
x3	Tripe 15	0		0.2681
x4	Agrocafe (nutrimon)	0		0.2152
x5	Tradición cafetera	0		0.1291
x6	Agrimis	0		0.4741
x7	Agriplan cafetero	0		0.2251
x8	Cafeaza	0		0.3723
x9	Carge (fosfacol)	0		0.2428
x10	Cloruro de potasio (KCl)	433.34	8.67	0
x11	CoNplex	0		0.1772
x12	Fosfato de amonio	111.11	2.22	0
x13	Hydranova	0		0.1704
x14	Kafertil	0		0.1328
x15	Remital	0		0.212
x16	SAM (sulfato de amonio)	39.06	0.78	0
x17	Urea	590.87	11.82	0
x18	Producción	0		0.1338
x19	Quimifos	0		0.5296
x20	Sulfato de magnesio	312.5	6.25	0

Cuadro 3. Fuentes nutricionales de uso común para el cultivo de café.

Table 3. Nutritional sources commonly used in coffee crops.

Fuentes nutricionales	Cantidad (kg/ha/año)	Costo de fertilización	Suministro de nutrientes (kg)				
			(N) ¹	(P ₂ O ₅) ²	(K ₂ O) ³	(S) ⁴	(MgO) ⁵
Remital	1 765	1 315.17	300	106	318	28	35
Hydranova	1 579	1 185.10	300	63	300	28	47
Óptimas	1 487	855.52	300	50	260	50	50

1= nitrógeno; 2= fósforo; 3= potasio; 4= azufre; 5= magnesio.

Tomando como referencia una hectárea (1 ha), un periodo de producción de 4 años (periodo productivo después de la primer cosecha), y suponiendo que el precio de las fuentes nutricionales en este periodo es constante, se calculó el ahorro anual en US \$ 329.58 dólares, como la diferencia del costo de fertilización entre el Hydranova y las cantidades óptimas obtenidas (Cuadro 3).

Considerando el periodo de producción de café de cuatro años. El valor presente del flujo anual de ahorros se obtiene utilizando la ecuación (2) con un interés anual de 3.96% establecido por el banco de la república de Colombia, el ahorro total es de 1 197.47 dólares.

$$VP = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2)$$

Donde:

VP= Valor presente;

A= Flujo anual de ahorros (329.58 dólares);

i= Interés anual (3.96%);

n= Número de años (4).

$$VP = 329.58 * \left[\frac{(1.0396)^4 - 1}{0.0396 * (1.0396)^4} \right] \rightarrow VP = US \$ 1 197.47$$

Aunque en la actualidad existen herramientas de optimización mucho más sofisticadas, la programación lineal continúa siendo una técnica importante en la solución de problemas de optimización en la agricultura. El presente estudio estuvo enfocado al caso específico del municipio de Gigante, en Colombia, con 2 897.1 hectáreas productivas de café. Los resultados mostraron una reducción de 38.52% en los costos de fertilización para el año 2013, en comparación con Hydranova un fertilizante compuesto de uso común por los cafetaleros de esta región en Colombia. Asimismo, aplicando las dosis recomendadas obtenidas en el modelo de programación lineal, los productores podrán obtener un ahorro por hectárea en 4 años de 1 197.47 dólares y considerando las hectáreas productivas de café en el municipio de Gigante, el beneficio económico para esta región es considerable.

Literatura citada

Alvarado, B. J. 2010. Análisis post-optimal en programación lineal aplicada a la agricultura. Rev. Reflexiones 90(1):161-173.

Considering one hectare (1 ha) as reference, a period of 4 years production (productive period after the first harvest), and assuming constant price for nutritional sources in this period, the annual savings were estimated in \$ 329.58 USD as the cost difference between Hydranova fertilization and the optimal amounts obtained (Table 3).

Considering the four years coffee production period. The current flow of annual savings is obtained using the equation (2) with an annual interest rate of 3.96% set by the Bank of the Republic of Colombia the total savings are \$ 1 197.47 USD.

$$VP = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2)$$

Where:

VP= Present value;

A= Annual flow of savings (\$ 329.58 USD);

i= Annual interest (3.96%);

n= Number of years (4).

$$VP = 329.58 * \left[\frac{(1.0396)^4 - 1}{0.0396 * (1.0396)^4} \right] \rightarrow VP = US \$ 1 197.47$$

Although currently there are more sophisticated tools for optimization, linear programming remains an important technique in solving optimization problems in agriculture. The present study was focused specifically on the Gigante municipality in Colombia with 2 897.1 hectares of coffee production. Results showed a 38.52% reduction in fertilization costs by 2013, compared with the Hydranova compound fertilizer commonly used by coffee growers of this region in Colombia. Furthermore, applying the recommended doses obtained by the linear programming model, producers may obtain savings of \$ 1 197.47 USD per hectare in 4 years and considering the coffee production hectares in the Gigante municipality, the economic benefit for the region is considerable.

End of the English version



Bruno, I. P.; Murray, J. U.; Bortolotto, R. P.; Osny, O.S. Bacchic, O. S. O.; Dourado-Neto, D. and Reichardt, K. 2011. Fertilizer nitrogen in fertigated coffee crop: absorption changes in plant compartments over time. Field Crops Res. 124:369-377.

Echeverría, L. M. J. 1994. Fertilización de los cafetales basada en el análisis de suelos, la mejor inversión. Avances técnicos Cenicafé Número 202. ISSN -0120-0178.

- Ribeiro, M. M.; Díaz, N. F.; Gontijo, G. P.T. 2003. Chemical composition, yield and quality of the fertilized coffee with different sources and doses of nitrogen, *ciênc. agrotec. Lavras*. 6(27):1246-1252.
- Sadeghian, K, S. 2008. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia, Guía Práctica. Boletín técnico Núm. 32. Cenicafé.
- Sadeghian, K. S. y González, O. H. 2012. Alternativas generales de fertilización para cafetales en etapa de producción. Avances técnicos Cenicafé Número 4244.
- Valencia, G. A. 1992. Fertilización de los cafetales. Avances técnicos Cenicafé Número 175.
- Zamora, M. B. P.; Sánchez, G. P.; Volke H. V. H.; Espinosa, V. E. y Galvis, S. A. 2005. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. (consultado mayo, 2013).
- IndexMundi. Fertilizantes. <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=urea&meses=60>. (consultado febrero, 2014).