

INCIDENCIA DE LA CALIDAD DEL SUELO EN LOS BENEFICIOS DE LOS AGRICULTORES: CASO DEL CAFÉ, MUNICIPIO LA VEGA

Nancy Medina Carranco*, Ramón Rosales Álvarez**
y Miguel Cabal Escandón**

***RESUMEN.** La fertilización que realizan los agricultores se hace con el objetivo de mejorar la rentabilidad de un cultivo, a través del aumento en la productividad. Sin embargo, si no se tiene un manejo efectivo de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, estas prácticas son ineficientes tanto social como privadamente. Socialmente por los costos medio ambientales generados a través de externalidades negativas (aumento en los costos de tratamiento de aguas, daños a la salud, etc.); y, privadamente debido a que, en el corto plazo, los costos marginales de fertilización aumentan más que sus beneficios marginales y, en largo plazo, los beneficios totales disminuyen por el deterioro del suelo y agua disponible para un cultivo.*

* Economista, M.S. Economía del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

** Economista, Ph.D. Profesor, investigador, Programa Economía del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad de los Andes

1. Introducción

La agricultura sostenible supone lograr el máximo rendimiento con la mínima cantidad de insumos, es decir maximizar beneficios, mejorando y conservando los recursos naturales, con el fin de asegurar necesidades y requerimientos de una población creciente, en el corto y largo plazo. La explotación del suelo de manera sostenida es conveniente para los productores, porque permite mantener la calidad del suelo y por lo tanto los beneficios totales en el largo plazo.

La maximización de beneficios depende, entre otras cosas, de la utilización racional del suelo, que se logra a través del ajuste de sus características con las exigencias ecológicas de las plantas que varían en sus aspectos morfológicos y fisiológicos (Grisales, 1977). Este ajuste implica relacionar el suelo, como principal fuente de nutrientes y condiciones químicas, con los requerimientos de las plantas.

Por lo tanto, uno de los principales aspectos que debe tenerse en cuenta es la fertilidad del suelo: la presencia de los elementos nutritivos para las plantas, para lo cual se debe introducir la calidad de suelos en el análisis. La cantidad de nutrientes efectivamente absorbidos por el café es una proporción de la cantidad existente en el suelo, proceso que conduce a que en el tiempo, con el uso de los suelos, los nutrientes se vayan agotando.

Esto nos lleva al uso de fertilizantes, dados los paquetes tecnológicos introducidos por la revolución verde, para suplir las necesidades de las plantas, pero su uso eficiente depende de factores como el clima, agua disponible, variedad, tipo de suelo, etc., por lo cual es necesario investigar las respuestas del cultivo a diferentes aplicaciones. Un nutriente puede ser más importante que los demás. En el caso del café los nutrientes limitantes (macronutrientes) en la producción son el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) como lo demuestran los estudios experimentales de Cenicafé. Así, una cosecha de café cereza de 2.000 kl. (32 arrobas de pergamino seco) por hectárea, extrae del suelo 30 kl. de nitrógeno, 5 kl. de fósforo y 48 kl. de potasio (Fedecafé, 1979).

La adopción de recomendaciones de fertilización, con base en el Análisis de Suelo, se puede considerar como un problema similar a la adopción de una tecnología, ya que una tecnología, según Rogers (1983), es el diseño de una acción instrumental que disminuye la incertidumbre en la relación causa-efecto empleada para lograr un

resultado deseable. La fertilización es una acción que se lleva a cabo con el fin de aumentar la rentabilidad, es decir obtener el mayor rendimiento posible con el mínimo trabajo y costo.

Los principales criterios de sostenibilidad de una tecnología agrícola son que: en el corto plazo el uso de insumos sea óptimo, en el largo plazo permita obtener al menos los mismos beneficios totales que en el presente, y la no generación de externalidades negativas, que frecuentemente no se tienen en cuenta.

Las técnicas de fertilización ineficientes ocasionan costos al medio ambiente debido a las pérdidas de nutrientes que, por su naturaleza, sugieren que el nivel de fertilizante utilizado es socialmente y privadamente ineficiente. La ineficiencia social surge debido a los costos externos ocasionados al medio ambiente. Según Clavijo (1988), las pérdidas se generan porque los nutrientes están siendo constantemente removidos de la zona de la raíz a través de la desnitrificación, derrame, lixiviación y fijación.¹ Varios estudios han mostrado como la incertidumbre acerca de los nitratos en el suelo pueden hacer que los agricultores usen fertilizante nitrogenado químico para disminuir el riesgo en la producción (Fuglie y Bosch, 1995). Adicionalmente, la escasez de información del manejo de nutrientes puede obstaculizar la adopción de prácticas que podrían aumentar los retornos y disminuir la pérdida potencial de nutrientes.

Una forma de disminuir la pérdida de nutrientes es desarrollar y aplicar tecnologías que capaciten a los agricultores a usar con mayor oportunidad y precisión la cantidad de insumos que facilitan el crecimiento del cultivo. El análisis de suelo se desarrolla para disminuir la incertidumbre acerca del contenido de nutrientes disponibles. En tanto los beneficios de esta información excedan los costos de obtenerla, la adopción mejoraría el beneficio del agricultor y disminuiría los costos medioambientales.

¹ *Lixiviación*: se refiere a la pérdida de nutrientes en forma iónica en el agua de drenaje. La magnitud de la pérdida depende del volumen de precipitación pluvial, las características del suelo en lo que respecta a su textura, contenido de materia orgánica, rapidez de drenaje externo, etc., así como de factores secundarios como el tipo de cobertura del suelo (Guerrero, 1988).

Fijación de nutrientes: si no existiese interacción entre el suelo y el fertilizante, la forma más eficiente de fertilización sería en forma líquida o altamente soluble, aplicada en épocas adecuadas y mediante sistemas adecuados. Así, se lograría mantener a la solución del suelo en íntimo contacto con las raíces de la planta y con una composición nutricional adecuada para alcanzar la máxima producción vegetal, en la práctica esto no ocurre porque la alta solubilidad en agua de los fertilizantes generalmente se reduce al entrar en contacto con las partículas del suelo. A este grupo de procesos se le conoce como fijación (Guerrero, 1988).

Inmovilización: este proceso es fundamentalmente microbial y consiste en que las formas iónicas de los nutrientes en la solución del suelo, que se encuentran listas para ser aprovechadas por los cultivos, son asimiladas por los microorganismos del suelo, de cuyo metabolismo resulta la síntesis de complejos orgánicos que no serán aprovechados por la planta (Guerrero, 1988).

Es necesario proponer un modelo que ayude a explicar la adopción de recomendaciones de fertilización, para luego incorporar estos resultados en una función de beneficios y observar la incidencia de esta adopción. Como la decisión de adoptar las recomendaciones y los beneficios dependerán de la calidad de suelos que caracterice la finca, como se explicará y sustentará posteriormente, se puede deducir la incidencia de tener en cuenta una variable ambiental, calidad de suelos, en los beneficios del caficultor.

El sector cafetero ha implementado el análisis de suelos desde 1990, para superar problemas tales como la acidez de suelos y exceso de aluminio, para minimizar costos –incorporando la cantidad de fertilizante requerida– y para elevar los rendimientos. Para que esta política sea más efectiva para el sector es necesario disponer de medidas de beneficios que se basen en variables ambientales.

El objetivo del presente estudio es analizar la incidencia de la calidad de suelos,² como variable ambiental, y de otras variables socioeconómicas en los beneficios económicos del agricultor, específicamente del caficultor del municipio La Vega de Cundinamarca. Esto permitirá comparar los impactos sobre los beneficios de las recomendaciones de fertilización, entre agricultores con diferentes tipos de suelo, cuando son adoptantes y no adoptantes.

2. Calidad de suelos en la producción de café en el municipio La Vega-Cundinamarca

La Vega se localiza al noroccidente del Departamento de Cundinamarca. El área total del Municipio es de 159 Km², correspondiendo el 99% al área rural; se localiza a una altura de 1.230 metros sobre el nivel del mar y posee una temperatura promedio de 22° C (Umata, 1993). La actividad principal es la agricultura y ganadería, sobresalen los cultivos de café con 2.285 hectáreas; caña panelera con 1.545 hectáreas; yuca, 350 hectáreas; y banano, 180 hectáreas.

La explotación de café se encuentra en 20 de las 28 veredas del Municipio, siendo el tamaño de finca más frecuente de 2 a 3 hectáreas. De esta actividad dependen económicamente 1.132 agricultores, y genera aproximadamente el 50% de los recursos

² Para el estudio la calidad de suelos se refleja a través de sus principales características químicas, como son pH, contenido de materia orgánica, fósforo y potasio.

agropecuarios del Municipio, constituyéndose de esta manera en el principal renglón agrícola.

Según el censo cafetero de 1980 La Vega participaba con el 4% de la producción de café en el departamento de Cundinamarca. En enero de 1993 el área cosechada de café disminuyó en 1.000 hectáreas, correspondiéndole el 11,5% de área en el departamento y el 0,58% a nivel nacional. El rendimiento promedio es de 5,12, en tanto a nivel nacional es de 7,5 cargas por hectárea.

Los suelos de la zona cafetera se han desarrollado a partir de diversidad de materiales de origen y bajo condiciones variables de clima, que les hacen tener propiedades físicas y químicas diferentes que influyen en el comportamiento del cafeto y su manejo, especialmente en lo relacionado con el uso de fertilizantes.

Al cafeto no le convienen los suelos muy ácidos; prospera en suelos con pH de 5,0 a 5,5, es decir, en suelos medianamente ácidos. Un pH bajo (por debajo de 4,0, esto es un suelo ácido) dificulta que las plantas tomen el nitrógeno y el potasio, hay exceso de aluminio e hidrógeno que no son alimento para las plantas (Fedecafe, 1979).

Los suelos del municipio presentan pendientes promedios de 25%. Agroecológicamente encontramos siete tipos de suelos pasando de planos, semiplanos, quebradas y pendientes. De estos los semiplanos y quebradas se dedican a la explotación de café.

Es necesario mencionar que en los últimos años por la influencia de problemas fitosanitarios (Roya y Broca), mano de obra decreciente y presión del turismo,³ se ha ido desplazando la zona cafetera a partes apartadas del municipio, pero de las mejores condiciones ecológicas (Umata, 1993).

3. Marco teórico

La teoría microeconómica dice que los beneficios son función de la producción, de los precios del bien que se produce y de los costos de los insumos utilizados en el proceso productivo. Así según Varian (1992), dado un conjunto de producción cualquiera Y , los beneficios que pueden ser obtenidos cuando el vector de precios es p , $\pi(p)$, se calculan como la diferencia entre los ingresos y los costos.

³ Dada la cercanía a Bogotá, facilidad de acceso y la disposición de una buena calidad de servicios, La Vega se ha convertido en un lugar estratégico de turismo.

$$\pi(p) = p f(K, L, A, CH, Z) - CT$$

Donde p es el precio del producto, f es la función de producción y CT son los costos totales.

Se observa que en la función de producción⁴ no sólo se están incorporando los factores del modelo clásico de producción –capital (K), mano de obra (L) y tierra o área cultivada (A)– sino que, adicionalmente, está incluyendo la oferta o contenido de macronutrientes (Z) y el capital humano (CH).

La calidad del suelo es fundamental en la producción agrícola por lo cual el costo gradual de disminuir el *stock* de nutrientes puede conducir a una reducción de la productividad. Una forma de reflejar la calidad del suelo es a través de su capacidad productiva dentro de la cual un elemento clave es la fertilidad, entendida como la capacidad del suelo para suministrar los nutrientes que demanda la producción de un cultivo. La calidad del suelo se puede reflejar a través de las principales características químicas del suelo: pH y contenido de nutrientes.

Es importante incluir en la función de producción el capital humano, ya que las diferentes teorías de desarrollo consideran que factores tales como el nivel de preparación del productor contribuyen significativamente a la obtención de altos rendimientos.

Al introducir los nutrientes del cultivo como insumo, es necesario considerar investigaciones realizadas en un contexto de funciones de respuesta. Casi todas giran en torno de la denominada Hipótesis de von Liebig (vLH), o ley del mínimo, que se puede enunciar como “cada predio contiene un máximo de uno o más y un mínimo de uno o más de los diferentes nutrientes. Con este mínimo, sea cual sea el nutriente, se relacionan directamente los rendimientos de un cultivo. Es decir que es el factor que gobierna y controla la cantidad o duración del rendimiento” (Lanzae y Paris, 1981, p. 91).

En últimas los fertilizantes aplicados son fundamentales tanto por su efecto en la producción como en los costos; por ello, una de las decisiones de mayor trascendencia en el éxito de la producción de un cultivo es el uso de fertilizantes, prácticas que se denominan “Recomendaciones de Fertilización”. La obtención del máximo ren-

4 Suponemos que f es creciente y cóncava en los cuatro factores de producción y que, además, tiene rendimientos constantes a escala.

dimiento con el mínimo de fertilizante, supone conseguir un máximo de eficiencia en la fertilización y que esto ocurra dependerá, en gran parte, de la recomendación acertada.

No todos los nutrientes aplicados por medio de la fertilización son aprovechados por el cultivo, solamente una proporción⁵ es utilizada por la planta, que dependerá del grado en que interactúe el fertilizante con factores climáticos y del suelo. Esta interacción resulta en la ocurrencia de procesos cuya intensidad define la mayor o menor eficiencia de fertilización: *pérdidas de nutrientes* debido a procesos como la lixiviación; *por la formación de gases* que se relaciona casi exclusivamente con los fertilizantes nitrogenados debido a la desnitrificación, esto es la fijación de nutrientes e inmovilización.

Pero esta función de beneficio supone el conocimiento perfecto de la información por parte de cada uno de los productores. En la práctica, las decisiones se toman sin un conocimiento total de la calidad del suelo, lo cual introduce un factor de incertidumbre en las mismas. Se trata de encontrar una aproximación al comportamiento maximizador de los beneficios del productor, a través de la decisión de adoptar o no las recomendación de fertilización (RF).

Generalmente, las decisiones de adopción del agricultor en un período dado se supone que se derivan de la maximización del beneficio esperado sujeto a la disponibilidad de crédito, área de cultivo, factores internos (características socioeconómicas del propietario) y externos (calidad del suelo). La decisión de adoptar o no las RF es voluntaria y depende de las características socioeconómicas del caficultor (tales como su nivel educativo) y de los beneficios que generen en el proceso productivo; por lo tanto, constituye información valiosa que enriquece el modelo, pues permite tener en cuenta ciertos factores no observados pero que indirectamente captan formas de percepción y comportamiento del caficultor con respecto a la calidad del suelo.

La técnica de análisis de suelos permite al caficultor conocer la disponibilidad de nutrientes existentes en el suelo y por lo tanto disminuye la incertidumbre del manejo de los mismos. Para analizar las recomendaciones de fertilización en un marco de adopción es necesario revisar las diferentes teorías de adopción de innovaciones agrícolas.

5 Proporción que generalmente se expresa en porcentaje y se denomina eficiencia de la fertilización.

Convencionalmente se considera que las restricciones para una adopción rápida son factores tales como la escasez de crédito, acceso limitado a la información, aversión al riesgo, inadecuado tamaño del predio agrícola, incentivos inadecuados por las formas de tenencia de la tierra, insuficiente capital humano, escasez de equipo que facilite las labores de producción cuando la mano de obra es limitada, deficiente oferta de insumos complementarios (semilla, fertilizantes, etc.) e inapropiada infraestructura de transporte para llevar los productos al mercado (Feder *et al* 1985).

En la investigación de campo se pudo observar que el acceso al crédito, la infraestructura de transporte inapropiada y la deficiente oferta de insumos complementarios no son restricciones reales para la adopción de tecnologías, ya que el sector cafetero, a través de la Federación de Cafeteros y de los diferentes Comités Departamentales, se ha organizado exitosamente en el suministro de insumos,⁶ otorgamiento de crédito⁷ y disponibilidad de infraestructura vial.

El análisis de suelos cuyo costo para el caficultor, en este año, es de \$11.800, puede ser solicitado cuando el productor lo considere necesario, lo cual le permite tener información sobre el contenido de nutrientes existentes en el suelo y, por lo tanto, un manejo más eficiente de los fertilizantes, reduciendo de esta forma el acceso limitado a la información. En la investigación de campo se observa que las RF han sido bien recibidas y adoptadas por algunos caficultores, mientras que otros no las han adoptado todavía.

Dada la riqueza empírica y teórica para modelos de adopción, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, tomaremos como base fundamental el modelo de Rogers (1983) de adopción de tecnología. Según este autor los factores que favorecen una rápida adopción son los atributos de la nueva tecnología, si estos representan un beneficio neto para el adoptante potencial será adoptada más rápidamente. Por lo tanto, la forma de comunicar las ventajas relativas de la tecnología es relevante para disminuir la incertidumbre de sus resultados.

Experiencias pasadas demuestran que no es frecuente la adopción de tecnologías en

6 Las cooperativas del sector facilitan la obtención de insumos, tales como fertilizantes, con ciertas facilidades de pago.

7 El Fondo Rotatorio es una institución que ha facilitado los créditos para la producción, en particular para los pequeños productores. En la encuesta realizada para el estudio, se observa que es recién en este año cuando les ha sido difícil acceder al crédito.

la agricultura de forma inmediata y uniforme. En muchos casos el comportamiento de adopción difiere en el tiempo y entre los grupos socioeconómicos. Rogers argumenta que el proceso de adopción de la innovación no es inmediato, sino que varía en el tiempo y define a la adopción como “el proceso mental en el que el individuo pasa de un primer conocimiento de la nueva tecnología a la decisión final sobre la misma” (1983, p. 163). Considera, además, que la difusión es un proceso, por medio del cual una innovación es comunicada a través de ciertos canales, en un tiempo dado entre los miembros de un sistema social.

Entre los canales de comunicación para difundir el análisis de suelo los caficultores disponen de un buen sistema de extensión y asistencia técnica. Para el municipio de la Vega hay dos técnicos que dan atención personalizada a cada caficultor, quienes, de acuerdo con Rogers (1983), se pueden considerar como agentes de cambio. Su papel es clave en el proceso de difusión de las RF, generadas a través del análisis de suelos; ellos explican cada una de estas recomendaciones.

La radio, como sistema de comunicación masiva, presta un servicio útil a través de diferentes programas diseñados específicamente para el caficultor. El Comité de Cafeteros de Cundinamarca, organiza importantes actividades de capacitación para aspectos relacionados con la producción de café; en ellas los productores se relacionan y establecen vínculos de comunicación que son efectivos; por ejemplo, los análisis de suelos se han realizado en 14 de las 28 veredas del municipio.

Según el modelo de adopción de Rogers, la decisión de adoptar depende de las *ventajas relativas de la tecnología*, cuya percepción disminuye la incertidumbre de sus resultados y conduce a decidir sobre su adopción; y, de las *características socioeconómicas* del individuo.

Entre las ventajas relativas de las recomendaciones de fertilización, se pueden citar las económicas y las externalidades positivas. Las principales *ventajas económicas* consisten en:

- La *reducción en los costos de fertilización*: ante la situación actual de aumento constante en los precios de los fertilizantes y el desmonte total de los subsidios, se hace necesario un uso más racional de estos insumos para obtener una mayor eficiencia económica. Si tenemos en cuenta, además, que dentro de los costos directos

de producción del café la fertilización representa del 20 al 25% de estos⁸ (costo de fertilizante más mano de obra para su aplicación), se hace imperante la necesidad de que el agricultor cuente con una alternativa que conduzca al logro de mayores utilidades en su negocio, disminuyendo sus costos y aumentando su productividad.

Para cumplir dicho objetivo, en la administración de una finca, el agricultor tiene en sus manos el análisis de suelos, ya que la obtención de altos rendimientos de café depende en gran parte de un programa adecuado de fertilización.

- *Mantener la fertilidad del suelo:* muchos de los nutrientes de las plantas se encuentran en el suelo en cantidades variables. Con frecuencia esas cantidades no son suficientes para la alimentación adecuada de la planta por lo que es necesario fertilizar. Cuando uno de los nutrientes requeridos por la planta, escasea en el suelo, se presenta variación en el color y en el desarrollo de las hojas, las cuales se denominan síntomas de desnutrición que afectan la calidad del café y, por lo tanto, reducen los beneficios netos que podrían obtenerse.

- *Mejorar la calidad del suelo:* debido a que la aplicación oportuna y en cantidades precisas evita problemas tales como acidez, salinización y exceso de aluminio que no favorecen el desarrollo del café, por el contrario generan problemas de rendimiento. Además, en el largo plazo el deterioro del suelo por una aplicación inapropiada de los fertilizantes es inminente y afectará la cantidad producida y, por lo tanto, los beneficios totales disminuirán.

Como externalidad positiva relevante se puede citar la disminución de la contaminación del agua; el hecho de aplicar los fertilizantes con base en los nutrientes existentes en el suelo y los requeridos por el café, disminuye significativamente las pérdidas de nitratos y otros elementos en el medio ambiente, puesto que debido a la ley del mínimo (vLH) los nutrientes serán absorbidos por la planta casi en su totalidad (Clavijo, 1982), evitando de esta manera, entre otras cosas, un aumento en los costos de tratamiento del agua, más riesgos en la salud debido a la presencia de nitratos en el agua de uso doméstico, y la posibilidad de una contribución al agotamiento del ozono debido a la desnitrificación atmosférica del fertilizante nitrogenado (Fuglie y Bosch, 1995).

⁸ Comité Departamental de Cafeteros de Risaralda, Servicio de Gerencia Agrícola (SERGA), "Enfoque Económico de Temas de Capacitación a Grupos de Amistad y Cursos Veredales de Café", 1991.

Cuadro 1

Ventajas percibidas por los caficultores de las recomendaciones de fertilización

Económicas	Adoptantes	No Adoptantes	Total
Reducción en los costos de fertilización	68%	34%	55%
Mantener la fertilidad del suelo	72%	47%	62%
Mejorar la calidad del suelo	77%	42%	62%
Externalidad Positiva			
Disminución en la contaminación de agua	0%	0%	0%

Fuente: Encuesta 1996.

A través de la encuesta realizada a 43 de los 50 caficultores que hicieron el análisis de suelos,⁹ entre abril de 1993 y marzo de 1996, se observa cómo los caficultores perciben el beneficio de las recomendaciones de fertilización (cuadro 1).

Los adoptantes perciben las ventajas de las RF a un nivel significativo. Tanto adoptantes como no adoptantes no tienen mayor conocimiento de los efectos del exceso de fertilizantes para el agua; el mejoramiento en la calidad del suelo es percibido tanto por adoptantes como por no adoptantes.

Respecto a las características socioeconómicas de los adoptantes, y conforme al análisis realizado de la encuesta para establecer relaciones de éstas con la adopción de RF, entre las principales tenemos:

a) La edad de los productores o administradores se relaciona negativamente con la adopción; así, el 64.8% de adoptantes tienen una edad promedio de 35 años, mientras que el 70% de no adoptantes están sobre este promedio. Diferentes estudios han encontrado que los más jóvenes son los que más rápido adoptan esta decisión.

b) Los adoptantes tienen más educación que los no adoptantes—el 95.6% de adoptantes y el 60% de no adoptantes tienen hasta educación secundaria—, debido a que su nivel de preparación contribuye en la capacidad empresarial para el manejo de la finca. Aparentemente esta afirmación está en contradicción con la anterior, pero lo que se

⁹ Se considera una muestra representativa de este universo, pues es el 86% del total. Se quiso entrevistar a todo el grupo pero algunos ya abandonaron la actividad cafetera y a los otros fue imposible localizarlos.

observa en la investigación de campo es que los más jóvenes han tenido mayores oportunidades de capacitación.

c) Los adoptantes tienen una unidad agrícola de mayor tamaño, el 57% tienen fincas de más de 5 hectáreas, mientras que el 60% de no adoptantes tienen fincas de menos de 5 hectáreas.

d) Dado que en promedio el pH, contenido de materia orgánica, fósforo y potasio de los predios de los adoptantes se encuentran en el rango óptimo (5.0, 12.0, 11.0 y 0.31 respectivamente), en tanto que para los no adoptantes no todas las características se encuentran en este rango (por ejemplo el potasio 0.26), se observa que la adopción de RF se relaciona con una buena calidad de suelos.

4. Modelo¹⁰

Se supone que el caficultor tiene un comportamiento racional y, por lo tanto, actúa maximizando los beneficios esperados, que dependen de la calidad del suelo (pH, contenido de materia orgánica, fósforo y potasio), de variables socioeconómicas (experiencia, nivel educativo, tamaño del lote, densidad, edad del cultivo y variedad cultivada) y de la variable que tiene en cuenta la selectividad de la muestra (λ), estimada a través del modelo de adopción. Esta variable al relacionarse con la probabilidad de adopción de las RF capta indirectamente, entre otras cosas, las actitudes y comportamientos del caficultor hacia la calidad del suelo, del medio ambiente como tal, y de su capacidad empresarial en el manejo de la finca, pues el hecho de que se adopten estas recomendaciones refleja en cierta forma el interés para mantener la capacidad productiva del suelo.

De esta forma, se puede captar la incidencia de la variable ambiental en los beneficios de los productores. Como se trata, en últimas, de estimar los beneficios netos teniendo en cuenta la calidad del suelo se plantean dos funciones de beneficios, una para adoptantes y otra para no adoptantes, considerando los resultados de la primera etapa de estimación del modelo de adopción. Es decir que, metodológicamente primero procedemos a estimar el modelo de adopción Probit y luego, en una segunda etapa, introduciendo los resultados anteriores estimamos las funciones de beneficios.

¹⁰ Ver FUGLIE Y BOSCH (1995).

La evaluación microeconómica del impacto de adopción de una tecnología agrícola es limitada, debido a que las actividades realizadas por el agricultor “antes” y “después” no son observables. Por lo cual lo que hacen usualmente los investigadores es comparar adoptantes con no adoptantes.

Lee (1978) desarrolló una aproximación para estimar modelos de este tipo, llamados *endogenous switching-regression*. En esta aproximación la decisión de adopción es modelada por métodos estándares de variables dependientes binomiales. Las ecuaciones para otras variables son estimadas por separado para cada grupo (adoptantes y no adoptantes) condicionadas a la decisión de adopción.

La adopción de una nueva tecnología es una variable de escogencia dicótoma resultante de maximizar la función de beneficios esperados, que está determinada por un conjunto de variables exógenas, Z , las cuales determinan los costos de ajuste (tales como los de aprendizaje) y la ejecución relativa de nuevas y viejas tecnologías. El beneficio esperado de la adopción, I_n^* , es comparado con el de la no adopción, I_o^* ; la adopción ocurriría si $I_n^* > I_o^*$; es decir, $I = 1$ si $I_n^* > I_o^*$, e $I = 0$ si $I_n^* < I_o^*$. La adopción de tecnología puede modelarse como:

$$I = Z\gamma + \varepsilon \quad (1)$$

Donde: γ = vector de parámetros

ε = error distribuido con media 0 y varianza σ^2 .

El término de error incluye errores de medición y factores no observados por los investigadores pero conocidos por los agricultores.

La ecuación (1) se basa en la noción de que los agricultores son heterogéneos en sus características, y no todos encuentran conveniente o beneficioso adoptar una nueva tecnología (al menos no al mismo tiempo). La estimación puede hacerse a través de un modelo Binomial Probit.

La adopción de una nueva tecnología afecta otras variables (demanda de insumos, beneficios, oferta de productos) y es un indicador que recoge otras variables no observables (características del productor, actitudes y percepciones hacia el medio ambiente). $Y = f(X)$ relaciona la variable afectada (beneficio, producción o demanda de insumos, oferta de productos, etc.) con un vector de variables exógenas X (pre-

cios y factores fijos). En el modelo de *switching-regression*, se especifican ecuaciones separadas para adoptantes y no adoptantes:

$$Y_n = X\beta_n + \varepsilon_n \quad \text{si } I = 1 \quad (2)$$

$$Y_o = X\beta_o + \varepsilon_o \quad \text{si } I = 0$$

Donde Y_n es el beneficio generado por adoptar la nueva tecnología, y Y_o el beneficio obtenido sin adopción. Dado que la escogencia de tecnología es endógena, los coeficientes estimados de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), β_n y β_o , de (2) sufrirían de sesgo de selección de la muestra; normalmente los términos de error de la ecuación (2), condicional al criterio de la selección de la muestra, no tienen valor esperado cero (Maddala, 1991).

El sesgo de selección de la muestra surge cuando factores no observados por el investigador, pero conocidos por el agricultor afectan la escogencia de la tecnología y otras variables de decisión.

La aproximación de Lee (1978) supone que los términos de error tienen una distribución conjunta normal con la siguiente estructura de varianzas y covarianzas:

$$Cov(\varepsilon_n, \varepsilon_o, \varepsilon) = \begin{vmatrix} \sigma_n^2 & \sigma_{no} & \sigma_{nc} \\ \sigma_{no} & \sigma_o^2 & \sigma_{oc} \\ \sigma_{nc} & \sigma_{oc} & \sigma^2 \end{vmatrix} \quad (3)$$

donde $Var(\varepsilon_n) = \sigma_n^2$, $Var(\varepsilon_o) = \sigma_o^2$, $Var(\varepsilon) = \sigma^2$, $Cov(\varepsilon_n, \varepsilon_o) = \sigma_{no}$, $Cov(\varepsilon_n, \varepsilon) = \sigma_{nc}$, $Cov(\varepsilon_o, \varepsilon) = \sigma_{oc}$. Dados estos supuestos, los valores esperados de los términos de error truncados ($\varepsilon_n|I=1$) y ($\varepsilon_o|I=0$) son:

$$E(\varepsilon_n|I=1) = E(\varepsilon_n|\varepsilon > -Z\gamma) \quad (4)$$

$$= \sigma_{nc} \frac{\phi(Z\gamma|\sigma)}{\Phi(Z\gamma|\sigma)} = \sigma_{nc} \lambda_n$$

$$\begin{aligned}
 E(\varepsilon_o|I=0) &= E(\varepsilon_o|\varepsilon \leq -Z'\gamma) \\
 &= \sigma_{oc} \frac{\phi(Z'\gamma|\sigma)}{1 - \Phi(Z'\gamma|\sigma)} = \sigma_{oc} \lambda_n
 \end{aligned} \tag{5}$$

donde ϕ y Φ son la Función de Densidad de Probabilidades (FDP) y la Función Acumulada de Probabilidades (FPA), correspondientes a la distribución normal. Encontrando instrumentos para estas variables, ellas pueden adicionarse a la especificación de (2) y estimarse consistentemente por MCO.

Por lo tanto, se usa un método de dos etapas para estimar el modelo. En la primera, se estima un modelo Probit para la adopción de tecnología, $I = Z'\gamma + \varepsilon$, y, en la segunda etapa, estas variables son adicionadas a (2) y se estiman por MCO las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 Y_n &= X'\beta_n + \sigma_{nc} \lambda_n + \xi_n \quad \text{si } I = 1 \\
 Y_o &= X'\beta_o + \sigma_{oc} \lambda_o + \xi_o \quad \text{si } I = 0
 \end{aligned} \tag{6}$$

Los coeficientes de λ_n y λ_o proveen estimaciones de las covarianzas σ_{oc} y σ_{nc} . Si estas covarianzas son diferentes de cero la estimación de MCO de (2) sería sesgada debido a la selectividad de la muestra. La $Cov(\varepsilon_n, \varepsilon_o) = \sigma_{no}$ no puede ser estimada porque no hay observaciones que aparezcan en ambos grupos.

Los signos de los términos de Covarianzas σ_{nc} y σ_{oc} en (6) tienen una interpretación económica. Si tienen signos diferentes los individuos adoptan la nueva tecnología sobre la base de su ventaja comparativa, si tienen signos iguales hay un orden de jerarquía.

La estimación de β_n y β_o dados por (6) capturan los efectos de adoptar la nueva tecnología, miden el efecto marginal de una variable independiente y , condicionada a la decisión de adopción; esto es, ellos miden el efecto potencial de un cambio en X sobre la muestra. Dado que la estructura del modelo es recursiva, la identificación requiere que haya al menos una variable en Z que no aparezca en X .

4.1. Datos

Para la aplicación práctica de la teoría presentada se utilizan los datos de análisis de suelos,¹¹ disponibles desde abril de 1993 a marzo de 1996,¹² para 50 productores, de los cuales a 43¹³ se les hizo una encuesta para identificar a los adoptantes y no adoptantes, y para obtener las características socioeconómicas de los mismos. Además se utilizó la Encuesta Nacional Cafetera para verificar la consistencia de los datos, tales como producción y rendimientos, y obtener otras variables socioeconómicas del año 1993.

Se debe mencionar que se utilizarán los datos por lotes debido a que el análisis de suelos presenta datos a este nivel y no se pueden poner a nivel de finca porque son características específicas de estas unidades. Esto hace que el tamaño de la muestra se amplíe, pasando de 43 a 94, aunque se eliminan los caficultores que sembraron o hicieron zoca (6 lotes para no adoptantes y 11 para adoptantes) porque los beneficios obtenidos de la aplicación de las RF no son evidentes dado que no se dispone de datos de producción en el año de interés; de esta forma el tamaño de la muestra es de 77 (28 no adoptantes y 49 adoptantes).¹⁴ Las variables usadas en el análisis y sus valores medios se presentan en el cuadro 2.

En promedio el pH de los lotes no se encuentra en el rango óptimo, la mayor parte está por debajo del promedio (4.6), por lo que los suelos tienden a ser ácidos. En tanto que en promedio, el porcentaje de materia orgánica, el contenido de fósforo (P) y de potasio (K) se encuentra en el rango óptimo.¹⁵

11 Proporcionados por el Comité de Cafeteros de Cundinamarca. Programa RIAFS (Reporte e Interpretación de Análisis de Fertilidad de los suelos). Metodología Cenicafé.

12 Se debe mencionar que el análisis de suelo se ha hecho una sola vez por cada productor en este periodo.

13 Se trató de encuestar a todo este universo de productores pero no fue posible, debido a que cuatro ya habían abandonado la actividad cafetera y a los demás fue imposible localizarlos.

14 Para el estudio es necesario mencionar que el número total de adoptantes es de 23 y de no adoptantes 20. Cuando se eliminan los lotes donde se hizo zoca o se sembró (en total 17 lotes), quedan 19 productores no adoptantes y 23 adoptantes debido a que se van excluyendo lotes y no propietarios y, se observa que, se puede tener sólo algunos lotes en zoqueo o recién sembrados y otros están en producción.

15 Este rango óptimo está definido en las salidas (resultados) del programa RIAFS.

VARIABLE	RANGO OPTIMO
pH	5.0 a 5.5
MATORG	8 a 14 %
P	6 a 14 ppm
K	0.30 a 0.40 me/100 gr.

Cuadro 2

Descripción de variables

VARIABLES	MEDIA	DES. ESTAN.	DESCRIPCION
DEPENDIENTES			
ARF	0,676	0,484	Adopción de RF* (1=si, 0=no). <i>Dummy</i>
BN	670.860,0	805.220,0	Beneficios Netos (\$/Lote)
EXPLICATIVAS			
pH	4,566	0,431	Reacción de suelos (pH)
MATORG	11,084	6,525	Materia Orgánica (% de peso)
P	11,860	19,967	Contenido de fósforo (ppm)
K	0,3052	0,179	Contenido de potasio (me/1000 gr.)
EXPER	20,105	10,832	Años de experiencia en el cultivo
EDAD	39,700	11,000	Edad del caficultor o administrador (años)
EDUC		0,455	0,501 Nivel educativo (1=si tiene más de primaria; 0 en los demás casos). <i>Dummy</i>
PARTINS	0,519	0,503	Participación en las diferentes actividades del Comité y/o la Federación (1= si participa; 0=si no participa). <i>Dummy</i>
COSTF	165.490,0	198.690,0	Costos de Fertilización (\$/Lote)
REND	6,549	2,962	Rendimiento, producción por hectárea (cargas/ hect.)
TAML	1,601	1,225	Tamaño del Lote (hectáreas)
EDADC	4,844	2,621	Edad del cultivo (años)
DENSI	3.057,0	1.114,6	Densidad (arboles/hectárea)
MANEJO	0,377	0,487	Manejo de la finca (1=si es por el propietario, 0 en los demás casos). <i>Dummy</i>
VARIEDAD2	0,389	0,491	Variedad de café cultivada (1=Caturra, 0 en los demás casos). <i>Dummy</i>
VARIEDAD3	0,519	0,503	Variedad de café cultivada (1=Variedad Colombia, 0 en los demás casos). <i>Dummy</i>

* RF = Recomendaciones de Fertilización

FUENTE: Encuesta, 1996.

NOTA: En el caso de las variables *Dummy*, la media representa el porcentaje de los valores que corresponde a 1.

De acuerdo con la prueba Chi-cuadrada el tamaño del predio se relaciona con la decisión de adopción con un 90% de confiabilidad, siendo en promedio para los adoptantes de 9,6 y para no adoptantes de 4,6 hectáreas y por lote los promedios son de 1,65 y 1,5 respectivamente. Según la misma prueba, los años de experiencia de los caficultores también se relacionan con la decisión de adopción al 92% de confiabilidad, mientras que la edad del caficultor se relaciona con el 89% de confiabilidad y el nivel educativo al 88% de confiabilidad. La participación institucional, considerada como el grado de participación de los caficultores en las diferentes actividades que organizan el Comité y Federación de Cafeteros, se relaciona con esta decisión al 98% de confiabilidad y la variedad de café cultivada se relaciona al 91% de confiabilidad.

La densidad de árboles en promedio para los adoptantes es de 2.965 y para los no adoptantes de 3.447 y la edad del cultivo en promedio es de 3,8 y 4,2 respectivamente; cabe mencionar que el promedio no es tan representativo para describir esta variable, siendo en este caso más representativa la mediana que para los no adoptantes es de 3.050 y para los adoptantes es de 3.650. En la variable costos se incluyen costos de fertilización y otros costos. En la segunda se consideró gastos de instalación (cuando se sembró), control de malezas, otras labores de sostenimiento y control de la broca.¹⁶ No se incluyen costos de administración porque los propietarios no consideran este valor, y por lo tanto no se dispone de este dato para todos los agricultores.

Los beneficios netos se deducen de la diferencia entre beneficios totales, producción por el precio promedio del año correspondiente, y los costos. Se sabe que la mayor parte de caficultores enfrentan los mismos precios del café y de los fertilizantes, por lo cual no se incluyen como variables explicativas, así el 98% de los encuestados venden el café y compran los fertilizantes a la Cooperativa que tiene precios tipo Federación.

4.2. Resultados

Con estos datos se corrieron tres modelos *switching* en *Limdep*, uno considerando los beneficios con una tecnología tipo Cobb-Douglas (doblemente logarítmica); otro introduciendo para el fósforo una función cuadrática, dado que un exceso de este elemento bloquea la absorción de otros nutrientes por parte de la planta, lo cual

¹⁶ La broca apareció en la región en 1989 y, aunque no hay un nivel significativo de infestación (3-4% según técnicos de La Vega), es generalizada. Además, de acuerdo con la investigación de campo, todos los encuestados hacen el «re-re» o control manual de la broca.

puede reducir su rendimiento.¹⁷ Por último, se corrió un modelo totalmente lineal para efectos de comparación.

La especificación Cobb-Douglas ha sido la más ampliamente usada para estimar funciones de producción, debido a su simplicidad y facilidad de interpretación, pero es muy restrictiva (elasticidad de sustitución unitaria, elasticidades de producción constantes y elasticidades de demandas de factores constantes).

Históricamente la función cuadrática ha sido popular para especificar funciones de respuesta de los cultivos a los macronutrientes, la cual para que sea consistente con la hipótesis de Von Liebig en particular con la no sustituibilidad entre nutrientes y rendimientos de meseta, debe presentar signos positivos para los coeficientes de primer orden, negativos para los de segundo orden y negativos para las interacciones entre nutrientes. Se observa que es más adecuada que la Cobb-Douglas, porque es menos restrictiva, exhibe rendimientos marginales decrecientes en cada uno de sus argumentos, pues cumple con la propiedad de concavidad, y en cierta forma valida la hipótesis de Von Liebig.

La función lineal supone rendimientos infinitamente crecientes, a pesar de ser cóncava en cada uno de los argumentos no es adecuada para estimar funciones de producción; sin embargo se la estimó para efectos de comparación.

Operativamente se trata de un modelo en dos etapas. En la primera etapa se estimó una función de criterio a través de un modelo Probit, con el cual se identificaron los factores que inciden en la decisión de adoptar las recomendaciones de fertilización (ARF), considerada como variable dependiente cuyo valor es 1 si el caficultor adopta y 0 si no adopta. Se incluyeron dos tipos de variables independientes:

a) Ambiental como Calidad de los suelos que se refleja en: pH, materia orgánica (*Matorg*), fósforo (*P*) y potasio (*K*). En particular, consideradas como una medida de su capacidad para mantener los nutrientes y ponerlos a disposición para el crecimiento de la planta.

b) Características socioeconómicas expresadas en las siguientes variables: años de

¹⁷ Se decidió introducir este factor porque en la muestra se observa, aunque generalmente es raro, algunos lotes con alto contenido de fósforo. No hay muchos estudios al respecto, pero autores como Guerrero (1988) dicen que un exceso de este elemento acelera la maduración a expensas del crecimiento y puede generar efectos adversos en la utilización de otros nutrientes; además, si se combina con un suelo ácido impide la absorción de otros nutrientes necesarios para la planta.

experiencia en el cultivo, edad del caficultor, participación institucional, nivel educativo, densidad, costos de fertilización, edad del cultivo, manejo de la finca por parte del administrador o propietario y variedad de café cultivada.

Los resultados esperados para esta etapa son que el patrón de adopción sea afectado significativamente por la calidad del suelo y que la decisión de adopción de recomendaciones de fertilización se relacione positivamente con la calidad de suelos, ya que, de acuerdo con la evidencia empírica, entre mejor calidad del suelo se tenga se desea seguir las RF para mantener y si es posible mejorar la capacidad productiva del suelo.

Se espera que la adopción de las recomendaciones de fertilización se relacione positivamente con los años de experiencia en el cultivo y nivel de escolaridad, lo cual es consistente con lo planteado por Welch (1970) que dice que el factor humano en la agricultura puede ser atribuido a la experiencia, y que la educación es una variable relevante en la determinación de la capacidad del agricultor para la administración eficiente de la finca;¹⁸ y con el manejo de la finca, lo cual es lógico si pensamos que, si es manejada por el propietario, esta decisión puede ser tomada con mayor oportunidad y rapidez.

También se espera que la decisión de adopción se relacione positivamente con la participación institucional, ya que los adoptantes están expuestos a una mayor comunicación de las herramientas que tienen a su alcance para lograr una mayor eficiencia, así como de su funcionamiento y resultados, lo cual es consistente con la teoría de Rogers (1983); y con los costos de fertilización, pues a mayores costos más se desea adoptar las RF para reducirlos (atributo de las RF), pero también puede presentar una relación negativa, en el sentido que, entre mayores costos menor es el beneficio esperado y por lo tanto se reduce la probabilidad de adopción.

Se espera una relación negativa entre la edad del caficultor y la decisión de adopción, esto implica en cierta forma que los más jóvenes son menos adversos al cambio; esta relación no es contradictoria con los años de experiencia y el nivel educativo del agricultor, porque de acuerdo con los datos obtenidos los más jóvenes tiene un mayor nivel educativo y mayor experiencia. Así la mitad de 228 estudios demuestran que el 19% de adoptantes son jóvenes (Rogers, 1983).

En la segunda etapa se trata de estimar por separado dos funciones de beneficios,

18 La hipótesis de Schultz (1975) dice que la educación y la experiencia no son cercanos sustitutos.

para adoptantes y no adoptantes, a través del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Para esto se incorporan los resultados obtenidos en la primera etapa, como se explica en la parte teórica del modelo propuesto, evitando así un sesgo por la muestra. Las variables independientes consideradas son:

a) Ambiental como Calidad de los suelos reflejada en las mismas variables que en la primera etapa y que por la forma en que se las está considerando inciden en la obtención de beneficios.

b) Características socioeconómicas como años de experiencia en el cultivo, nivel educativo, tamaño del lote, densidad, edad del cultivo, una interacción entre edad del cultivo y variedad¹⁹ de café cultivada.

Los resultados esperados de estos modelos son que la calidad de suelos afecte significativamente a los beneficios, ya que la práctica dice que una buena calidad de suelos permite mayores rendimientos del cultivo y, por lo tanto, mayores retornos. Se espera una relación positiva con la variable educación, ya que una mayor educación, que permite un empleo más adecuado de los recursos, se asocia con la obtención de altos beneficios y producción (Fuglie y Bosch, 1995); con los años de experiencia porque se supone que contribuyen en el uso más apropiado de las prácticas culturales, lo cual implica lograr una mayor eficiencia en la producción; y con el tamaño del lote, pues a una mayor área cultivada mayor producción y beneficios. Además se espera que la interacción edad del cultivo-variedad sea importante para explicar los beneficios. A continuación se presentan los resultados y su interpretación.

Con base en los modelos estimados se puede decir que la estructura de estimaciones del Probit soporta la hipótesis de que los caficultores toman sus decisiones con base en el beneficio esperado, así adoptarán las RF si su beneficio esperado es mayor por la adopción que por la no adopción. Además se observa que el modelo más apropiado, de acuerdo con los resultados obtenidos, es el que incorpora una función de producción cuadrática, cuyas elasticidades son más correctas y por lo tanto genera un análisis más realista. La función Cobb-Douglas al tener elasticidad constante puede conducir a un análisis erróneo del impacto de la adopción tecnológica en los beneficios de los caficultores. Adicionalmente, en el modelo cuadrático se observa claramente la no sustituibilidad entre el fósforo y el potasio y la presencia de rendi-

¹⁹ Es importante considerar esta interacción porque la vida útil del cafeto se relaciona con la variedad cultivada.

mientos marginales decrecientes, lo cual valida la hipótesis de Von Liebig. Por lo tanto, las diferentes conclusiones se hacen con base en este modelo.

Modelo cuadrático estimado

En la primera etapa correspondiente a la función de criterio, estimada a través de un modelo Probit, se propone el siguiente modelo de adopción:

$$ARF = \gamma_0 + \gamma_1 pH + \gamma_2 MATORG + \gamma_3 P + \gamma_4 k + \gamma_5 EXPER + \gamma_6 EDAD \\ + \gamma_7 EDUC + \gamma_8 PARTINS + \gamma_9 COSTF + \gamma_{10} DENSI \\ + \gamma_{11} EDADC + \gamma_{12} MANEJO + \gamma_{13} V2 + \gamma_{14} V3 + \varepsilon$$

Donde se han considerado las variables independientes descritas en el cuadro 2. En el cuadro 3 se pueden observar los resultados de este modelo que visto en forma global es bueno, pues el estadístico Chi-cuadrado (53.116) es significativo a más del 99% de confiabilidad, consecuentemente el modelo está prediciendo bien. El patrón de adopción está afectado significativamente por el pH y la materia orgánica. Presenta una relación positiva con el pH que puede atribuirse a que la mayoría de caficultores de la muestra están por debajo del rango óptimo y por lo tanto es mejor un mayor pH para acercarse a este rango. La relación positiva con la materia orgánica confirma su importancia²⁰ en la producción de los cultivos; todo lo cual refleja la importancia de la calidad del suelo en la selección de una tecnología agrícola.

La variable años de experiencia está correlacionada de manera significativa con la decisión de adopción, la que como habíamos mencionado es parte del factor humano; similarmente la educación. La edad del caficultor es importante para explicar los beneficios y se relaciona negativamente con la decisión de adopción, confirmando la hipótesis de diferentes estudios empíricos, de que los más jóvenes son menos adversos al cambio. El coeficiente de la participación institucional resultó ser significativo para los dos grupos, de lo que se puede deducir que esta variable sí establece diferencias en los dos grupos y presenta una relación positiva similar al modelo anterior.

La edad del cultivo también es importante en la explicación de los beneficios netos, lo cual es lógico por las etapas de producción que tiene el cafeto de acuerdo con su edad. El costo de fertilización incide relativa y negativamente en la decisión de adop-

²⁰ Diversas propiedades importantes del suelo, incluyendo absorción y retención del agua, reserva de bases intercambiables, capacidad de suministro de N, P y azufre, estabilidad de la estructura del suelo y aireación son dependientes en algún grado de la cantidad y calidad de la materia orgánica presente. Esto mejora el suelo para el desarrollo de la planta y sirve como fuente alimenticia y energética para la mayoría de los organismos del suelo (Guerrero, 1988).

Cuadro 3

**Modelo probit de recomendaciones de fertilización
Modelo cuadrático**

VARIABLE	COEFICIENTE	T-RATIO
Constante	-8.89	-2.684
pH	1.576	2.171 b
MATORG	0.09	2.055 c
P	-0.015	-0.792
K	0.618	0.443
EXPER	0.068	2.750 a
EDAD	-0.101	-3.409 a
EDUC	0.926	1.546 d
PARTINS	1.779	2.273 a
COSTF	-0.000001	-1.081 f
DENSI	-0.000059	0.264
EDADC	0.143	1.365 e
MANEJO	-0.060	-0.103
VARIEDAD2	3.155	2.917 a
VARIEDAD3	2.214	2.334 b
Chi-Squared:	53.116	0.000002 *
Tamaño muestra:	77	
Adoptantes:	49	
No Adoptantes:	28	

(a) s. al 99%; (b) s. al 98%; (c) s. al 96%; (d) s. al 90% (e) s. al 84%; (f) s. al 77%

* Nivel de significancia

ción, lo cual puede atribuirse al hecho de que los caficultores con altos costos de fertilización prefieren no adoptar porque si no les han dado buenos resultados las prácticas actuales, pueden dudar de los resultados de las RF.

En la segunda etapa se estimaron por separado dos funciones de beneficios (para adoptantes y no adoptantes) por MCO incorporando los resultados de la primera etapa. Los modelos planteados, cuyas variables están descritas en el cuadro 2, son:

$$BN_i = \gamma_0 + \gamma_1 pH_i + \gamma_2 MATORG_i + \gamma_3 P_i + \gamma_4 P_i^2 + \gamma_5 P_i * k_i + \gamma_6 K_i + \gamma_7 EXPER_i + \gamma_8 EDUC_i + \gamma_9 TAML_i + \gamma_{10} DENSI_i + \gamma_{11} EDADC_i + \gamma_{12} EDADC_i * V2_i + \gamma_{13} EDADC_i V3_i + \gamma_{14} V2_i + \gamma_{15} V3_i + \sigma_{ic} \lambda_i + \xi_i$$

$i = a$ (adoptantes), na (no adoptantes)

En el cuadro 4 se pueden observar los resultados de estos modelos. Dado que la covarianza estimada (σ_{ac}) es relativamente significativa habría un sesgo si se estiman las funciones de beneficio directamente; esta diferencia implica que a priori a las RF no hubo diferencias, en promedio, en el comportamiento de los dos grupos debido a factores no observados. El hecho de que tengan signos diferentes demuestra que los caficultores adoptan la tecnología con base en su ventaja comparativa, es decir que quienes adoptan tienen un beneficio sobre el promedio por la adopción y quienes no adoptan tienen un beneficio sobre el promedio por la no adopción.

En este caso el P es relevante para explicar los beneficios de los adoptantes y no adoptantes, presentando un claro comportamiento de respuesta de una función cuadrática (por ser el coeficiente del término al cuadrado negativo y significativo para adoptantes), esto demuestra la hipótesis explicada anteriormente. El coeficiente estimado del pH es significativo para no adoptantes, lo cual refleja la importancia del grado de acidez en la producción y, por lo tanto, en los beneficios, presentando una relación negativa. La materia orgánica es relativamente importante para los dos grupos pero no tiene el signo esperado, quizá se deba a la interacción con las otras variables de calidad de suelos del modelo. La interacción $P*k$ tiene el signo esperado pero su coeficiente es estadísticamente diferente para los dos grupos, reflejando que es relevante para no adoptantes.

Los coeficientes de las variables años de experiencia y el tamaño del lote resultaron ser altamente significativos tanto para adoptantes como para no adoptantes, por lo tanto, las dos variables contribuyen de manera importante y positiva en la obtención de beneficios.

Un gran interés en el presente estudio es ver cómo la decisión de adopción afecta los beneficios de los adoptantes, variando las características que reflejan la calidad de suelo y manteniendo las otras variables independientes constantes, para esto se compara su situación resultante al haber adoptado las recomendaciones de fertilización con una en la que no se hubieran adoptado. Se seleccionaron cuatro tipos diferentes de caficultores con valores apropiados de las variables independientes, sus resultados al igual que las probabilidades de adopción (estimadas a partir del modelo Probit) se presentan en el cuadro 5.

Se observa que las RF para los caficultores que poseen suelos pobres (o de mala calidad) no son beneficiosas, quizás se debe a que ese tipo de suelos no son aptos para café

Cuadro 4

Switching regression model, función de beneficios netos

Modelo cuadrático

VARIABLE	ADOPTANTES	NO ADOPTANTES
Constante	475270.0 (0.282)	2432400.0 (4.202)
pH	-127350.0 (-0.490)	-390520.0 (-3.340) a
MATORG	-16599.0 (-1.135) e	-20908.9 (-2.741) b
P	35999.0 (2.491) b	2487.3 (0.206)
P2	-357.1 (-2.630) b	-37.1 (-0.244)
P*K	-16.1 (-0.001)	20783.0 (1.887) c
K	-231030.0 (-0.247)	136750.0 (0.506)
EXPER	37981.0 (3.581) a	10679.0 (3.036) a
EDUC	276220.0 (1.110) f	44330.0 (0.425)
TAML	611890.0 (5.373) a	130280.0 (4.283) a
DENSI	-157.8 (-1.622) b	-129.6 (-2.661) b
EDADC	-39388.0 (-0.510)	-88515.0 (-2.458) b
EDADC*V2	34976.0 (0.274)	134060.0 (3.381) a
EDADC*V3	17318.0 (0.185)	-53064.0 (-1.266) f
V2	-661080.0 (-0.773)	-306460.0 (-1.114) f
V3	-425810.0 (-0.510)	4147.6 (0.017)
LAMBDA	357010.0 (1.586) d	-142110.0 (-0.999)
R-Squared	0.741	0.847
N	49	28

(a) s. al 99% ; (b) s. al 97%; (c) s. al 95%; (d) al 93%; (e) s. al 87%; (f) al 80%.

y por lo tanto se deben dedicar a otro tipo de cultivos; en tanto que para aquellos que cultivan en suelos de buena calidad hay un impacto positivo. El impacto de las recomendaciones de fertilización sobre los beneficios netos obtenidos al adoptarlas, es

significativamente positivo tanto para aquellos caficultores que tienen una máxima probabilidad de adoptar como para aquellos que tienen una mínima probabilidad de adopción. Se debe mencionar que los dos tipos de caficultores tienen suelos que se pueden considerar como relativamente buenos para el cultivo del café, por lo cual las acciones del Comité de Cafeteros de Cundinamarca deben estar dirigidas a los últimos para elevar sus tasas de adopción de las recomendaciones de fertilización y, de esta forma, obtener ganancias sociales significativas del análisis de suelos.

Para observar la contribución marginal de la calidad de suelos, de la educación, de los años de experiencia en el cultivo y de la edad del cultivo se estimaron las probabilidades de adopción, los beneficios netos y la diferencia entre los beneficios por adoptar y no adoptar con base en un cafetal típico, definido así por tener las características de mayor frecuencia (ver cuadro 6). Se observa que cuando aumenta el pH, está en el rango óptimo, la probabilidad de adopción aumenta aunque los beneficios disminuyen con respecto al cafetal base de comparación, situación similar ocurre con la materia orgánica; sin embargo, el impacto de la adopción de recomendaciones de fertilización en esta situación es importante, la disminución de beneficios se atribuye a que las dos variables se relacionan negativamente con éstos. En tanto que cuando el fósforo se encuentra en el rango óptimo la probabilidad de adoptar disminuye pero los beneficios netos aumentan, mientras que para el potasio disminuyen tanto la probabilidad de adoptar como los beneficios netos.

La contribución marginal de la educación es significativa, ya que al considerar un nivel educativo mayor a primaria aumentan la probabilidad de adopción y los beneficios, por lo cual se debe tratar de llegar al caficultor con más actividades de capacitación que permitirían al caficultor lograr una mayor capacidad empresarial en el manejo de la finca y consecuentemente una mayor eficiencia en las prácticas culturales del café.

Los años de experiencia en el cultivo contribuyen en forma representativa en la probabilidad de adopción de las RF y en los beneficios netos, pues se observa que al disminuir y aumentar (5 años) la probabilidad de adopción y los beneficios netos disminuyen y aumentan significativamente. Mientras que para la edad del cultivo al aumentar y disminuir (en 2 años) incide en forma inversa tanto en la probabilidad de adopción como en los beneficios netos, comprobándose de esta forma un comportamiento tipo cuadrático en la relación producción-edad del cultivo que corresponde a la realidad, ya que los rendimientos del café están en función de su vida útil.

Cuadro 5

Implicaciones económicas y medioambientales de las recomendaciones de fertilización

Sistemas de cultivo	Probabilidad de adopción	Beneficios netos adoptantes	Beneficios netos no adoptantes	Incremento beneficios netos
Con máxima probabilidad de adoptar	0,9998	1'573.103,0	322.801,9	1'250.301,1
Con mínima probabilidad de adoptar	0,0150	1'493.200,0	466.666,0	1'026.534,0
Con suelo pobre	0,5239	773.751,0	957.037,0	(183.286,0)
Con suelo bueno	0,9812	1'202.796,0	276.261,0	926.535,0

NOTA: Características de máxima probabilidad de adopción: $pH = 5.0$; $MATORG = 17.4$; $P = 7.0$; $K = 0.20$; $EXPER = 17$; $EDAD = 36$; $EDUC = 1$; $PARTINS = 1$; $DENSI = 2.699$; $V2 = 1$; $V3 = 0$; $TAML = 3.29$; $EDADC = 3$; $COSTF = 708.050,0$; $MANEJO = 0$.

Características de mínima probabilidad de adopción: $pH = 4.8$; $MATORG = 4.7$; $P = 10.0$; $K = 0.20$; $EXPER = 20$; $EDAD = 70$; $EDUC = 1$; $PARTINS = 0$; $DENSI = 2.500$; $V2 = 0$; $V3 = 0$; $TAML = 1.92$; $EDADC = 4$; $COSTF = 7.457,0$; $MANEJO = 1$.

Se considera suelo pobre: $pH = 3.5$; $MATORG = 1.9$; $P = 0$; $K = 0.10$; y bueno: $pH = 5.25$; $MATORG = 11$; $P = 10$; $K = 0.35$.

Para estos dos tipos el resto de variables son consideradas como constantes, es decir sus valores promedio, esto es: $EXPER = 20$; $EDAD = 39$; $EDUC = 1$; $PARTINS = 1$; $COSTF = 165.490,0$; $DENSI = 3057$; $EDADC = 4.8$; $MANEJO = 1$; $V2 = 1$.

Para definir suelo pobre se tomaron los valores mínimos, los cuales no están en el rango óptimo, y para suelo bueno se tomaron el promedio de los rangos óptimos.

5. Conclusiones

La importancia de la actividad cafetera en la generación de divisas para el país denota la trascendencia de este tipo de estudios, que sirven de referencia para tener en cuenta tecnologías que permiten producir con mayor eficiencia un café de mayor calidad para, de esta forma, lograr ser competitivos en el mercado mundial. Las conclusiones obtenidas a partir de la investigación se refieren a los resultados de los modelos estimados, sus implicaciones de política, limitantes del estudio y a algunas sugerencias para futuros estudios.

5.1 Resultados del modelo

- La calidad de los suelos incide en la decisión de adopción de las RF, a través del

Cuadro 6
Probabilidades de adopción y no adopción y diferencias en beneficios netos

CAMBIO EN VARIABLE DEPENDIENTE	PROBABILIDAD DE ADOPCION (%)	BENEFICIOS NETOS ADOPTANTES	BENEFICIOS NETOS NO ADOPTANTES	INCREMENTO DE BENEFICIOS
Cafetal base de comparación	0,7823	1'648.420,0	997.293,0	651.127,0
pH	0,9719	1'533.805,0	645.825,0	887.980,0
MATORG	0,9236	1'475.791,0	779.841,0	695.950,0
P	0,6179	2'046.727,0	1'076.422,0	970.305,0
K	0,7324	1'602.211,0	1'028.800,0	573.411,0
EDUC	0,9207	1'924.640,0	1'041.623,0	883.017,0
EXPER*	0,6736	1'458.515,0	934.898,0	523.617,0
EDADC*	0,6950	1'675.244,0	906.203,2	769.040,8
EXPER**	0,8729	1'838.325,0	1'050.688,0	787.637,0
EDADC**	0,8599	1'639.596,0	1'088.383,0	551.213,0

FUENTE: Simulación de los modelos Probit y *switching*, cuadros 3 y 4./

NOTA: Para el cafetal base de comparación se toma aquel considerado como típico, en el sentido que tiene las características de mayor frecuencia. Así: pH = 4.1; MATORG = 3.6; P = 1; K = 0.20; EXPER = 30; EDAD = 36; EDUC = 0; PARTINS = 1; DENSI = 2.500; EDADC = 4; MANEJO = 1; V2 = 1; V3 = 0. Para tamaño del lote y costos de fertilización se tomaron los valores promedios.

* Se disminuyen 5 años para experiencia y 2 para edad del cultivo.

** Se aumentan 5 años para experiencia y 2 para edad del cultivo.

grado de acidez (pH) y la materia orgánica. Como argumenta Hiebert (1974), un mejor medio ambiente físico de la unidad de producción (como buena calidad de suelo y disponibilidad de agua) aumenta los beneficios esperados y, por lo tanto, aumenta la probabilidad de adopción, aunque el contenido de fósforo y potasio no afectan significativamente esta decisión, lo cual puede atribuirse al tipo de datos de la muestra que presenta, en el caso del potasio, un alto nivel de homogeneidad. Por lo tanto, una buena calidad de suelos contribuye en la decisión de adopción, así como en la obtención de altos beneficios, pues permite obtener mayores rendimientos y por lo tanto mayores beneficios.

Se pensaría que una mala calidad de suelos motiva más al agricultor a decidir por la adopción, pero recordemos los problemas actuales de baja rentabilidad del sector caficultor, debido a, entre otras cosas, la presencia de broca que eleva los costos de mantenimiento, y a los precios del café. Ello hace que muchos caficultores con problemas de rendimiento prefieran abandonar la actividad.

- Las variables socioeconómicas presentan los resultados esperados de acuerdo con la teoría, siendo determinantes en la decisión de adopción el nivel educativo, la

experiencia y la edad del caficultor. Los años de experiencia en el cultivo y el tamaño del lote son variables importantes para explicar la variabilidad de los beneficios netos tanto para adoptantes como para no adoptantes.

- Se encuentra que es importante el uso del modelo *switching* de estimación en dos etapas, porque si se estiman directamente las funciones de beneficios, para adoptantes y no adoptantes, habría un sesgo por selección de la muestra. Este tipo de estimación permite ver que los caficultores adoptan las recomendaciones de fertilización sobre la base de su ventaja comparativa, lo cual refleja un comportamiento racional maximizador de beneficios esperados, fortaleciéndose, de esta forma, el argumento expuesto de que el tener en cuenta la decisión de adopción de las recomendaciones de fertilización enriquece el modelo al proveer información valiosa de ciertos factores no observables directamente.

5.2 Entre las implicaciones de política que permiten inferir los resultados se pueden mencionar:

- Comparando las probabilidades de adopción de las recomendaciones de fertilización, observamos que los caficultores con mayor probabilidad se dan cuenta o perciben el beneficio significativo del análisis de suelos en su proceso productivo, así como la importancia que tiene para ellos una buena calidad de suelos, variable que indirectamente se tiene en cuenta como parte de los insumos de producción. Es decir que el impacto de las recomendaciones de fertilización varía considerablemente de agricultor a agricultor, dependiendo de las características físicas del suelo.

En algunos casos, como para los caficultores que poseen suelos pobres, el análisis de suelos no es beneficioso, como dice Rogers la adopción de una tecnología no es siempre beneficiosa. Para este tipo de productores se debería hacer un análisis de aptitud del suelo para que se dediquen a otra actividad que sí les sea rentable, considerándose una pérdida los recursos invertidos para dar recomendaciones de fertilización en esta situación.

Por lo tanto, los esfuerzos de extensión y capacitación de la Federación Nacional de Cafeteros a través del Comité de Cafeteros de Cundinamarca deberían estar dirigidos y concentrados a aquellos agricultores con mínima probabilidad de adopción y con suelos relativamente apropiados para el café, ya que para lograr una ganancia

social significativa a partir de las recomendaciones de fertilización, se requieren altas tasas de adopción en este tipo de agricultores.

- Dado que la participación institucional también es relevante como factor que incentiva a adoptar las recomendaciones de fertilización, las instituciones relacionadas con el sector deben tratar de organizar más actividades que den a conocer con precisión los beneficios de estas recomendaciones, así como la importancia de las mismas en la eficiencia de las prácticas de fertilización, y consecuentemente en la reducción de externalidades negativas causadas al medio ambiente, que en últimas los afecta a ellos mismos al reducir los beneficios totales que se pueden obtener en el largo plazo y provocar efectos adversos en su salud y en las de sus familias. Dada la homogeneidad de las características de los caficultores de la zona investigada, motivar el uso de prácticas de manejo a todos ellos puede ser eficiente para lograr las metas medio ambientales.

Es decir que las políticas relacionadas con la difusión de la tecnología, que vayan desde tratar de instruir más al campesino sobre la parte ambiental y de las prácticas culturales más adecuadas que minimicen las externalidades negativas al medio ambiente, hasta hacer el análisis de suelos, son de suma importancia para el logro de altos rendimientos de un café de mayor calidad.

- El análisis de suelos es una herramienta fundamental de la cual dispone el caficultor y que le ayuda a cumplir los objetivos de eficiencia en las prácticas de fertilización, maximización de los beneficios y producción de un café de mejor calidad, por lo cual se debe tratar de difundirla a más productores dándoles a conocer sus beneficios y de esta forma lograr metas de competitividad en el mercado externo a través de una mejor calidad del café.

- Otras implicaciones de política del análisis son: propender por internalizar el valor social total del recurso suelo que tienen un efecto *stock* productivo, las cuales son muy efectivas para inducir a la conservación de recursos. Estas políticas no sólo causan una disminución en la tasa de explotación del recurso, sino que también conducen a una relación más dinámica entre la conservación del suelo y la producción. Como la calidad de suelos es de vital importancia en el proceso de producción agrícola es crucial la capacidad del gobierno para incentivar e imponer una estructura adecuada de regulación.

- Respecto de los impactos en el medio ambiente por pérdida de nutrientes, es necesi-

rio que el Minambiente regule el control del derrame y lixiviación de nutrientes en los sistemas agrícolas, que propicien el uso de tecnologías como el análisis de suelos que permite aplicar con oportunidad, y precisión los fertilizantes requeridos por el cultivo. Sobre la base de estudios como éste, que dan indicadores de lo que puede esperarse de la adopción de tales métodos de manejo, al menos para caficultores en áreas similares a La Vega el Minambiente puede desarrollar una regulación apropiada.

5.3 Algunas limitantes del estudio

- La presente investigación se abstrae de algunas complejidades de las características de los suelos que pueden tener importantes implicaciones tanto en la decisión de adopción como en los beneficios de los caficultores. Por ejemplo, no se tiene en cuenta variables importantes que reflejan la calidad del suelo tales como pendiente y factor de tolerancia de pérdida de suelo. No se incluyeron estas variables debido a que no se contaba con los datos a nivel de cada predio agrícola.
- El presente estudio se desarrolla en un marco de análisis estático, esto es un limitante en el sentido que el medio ambiente está sujeto a cambios continuos en el tiempo y sería más óptimo realizar un análisis dinámico. Pero dado que la frecuencia del análisis de suelos para cada lote es de una sola vez, no se pueden establecer comparaciones para observar los cambios en las variables contenidas en este análisis y, por lo tanto, no se puede incluir la variable tiempo. Sería importante contar al menos con una base de datos bi-anual; de esta forma se podría hacer un análisis más completo.
- Dado que los datos por ejemplo respecto a localización del cafetal (vereda), densidad y etapa del cultivo contenidos en el análisis de suelos, no son del todo claros para algunos productores –esta es la razón fundamental por la que no se ubicó a algunos cafeteros– es difícil llevar a cabo la encuesta de una forma óptima. Sería importante que se imponga como requisito para la solicitud del análisis de suelos describir estas variables de la mejor forma y si es posible que sean validadas por el técnico de la zona.

5.4 Sugerencias importantes para futuros estudios

Siendo este trabajo una primera aproximación que incorpora variables ambientales en el análisis de un proceso productivo, espera motivar la introducción de este tipo

de variables con mayor frecuencia en los diferentes análisis, con el fin de lograr un desarrollo sostenible económico, social y ambiental y, de esta forma, evitar la situación que se ha presentado en La Vega donde los recursos naturales (suelo, agua, bosque y fauna), según la Umata (1993), se encuentran en estado de deterioro, debido a la poca o nula conciencia del agricultor y falta de capacitación que propician el uso de prácticas como quemas, limpias, siembra en el sentido de pendiente, deforestación, sobrepastoreo, etc. La investigación permite hacer algunas sugerencias para futuros estudios:

- Para observar con mayor claridad las diferencias en beneficios netos por tener en cuenta la calidad de suelos, como variable ambiental, es importante ampliar la muestra. Se puede pensar en estimar el modelo para todo el departamento de Cundinamarca, lo cual sería posible al contar con los datos completos de la Encuesta Nacional Cafetera; de esta forma se considerarían agricultores con diferencias significativas en las variables que reflejan calidad del suelo.
- Adicionalmente, por las condiciones en que se ha desarrollado el estudio se le considera puntual dentro de un contexto de espacio temporal limitado. Para investigaciones futuras es necesario recopilar la mayor información posible para completar el análisis económico-ambiental, por ejemplo se podría incluir las formas de cultivo en pendiente que traen grandes problemas ambientales.
- Este análisis genera un desafío para estudios empíricos que estimen funciones de producción considerando los impactos en el medio ambiente, y usen formas funcionales que manejen una amplia variedad de variables ambientales, tales como calidad del suelo y agua, biodiversidad, etc.
- La mayoría de investigaciones de adopción, incluyendo este trabajo, tienden a ver la decisión de adopción en términos dicotómicos (adopción o no adopción). Pero para muchos tipos de innovaciones es interesante la cuestión relacionada con la intensidad de uso de las mismas (por ejemplo cuánto fertilizante se aplica por hectárea). Futuros análisis pueden considerar esta situación reconociendo diferentes tipos de comportamiento en el uso de insumos.

BIBLIOGRAFIA

- Bravo, Eduardo (1988), "Fertilidad de los Suelos Cafeteros y Fertilización del Cafeto en Colombia, en *Fertilidad de los Suelos: Diagnóstico y Control*. 3 Ed. Bogotá: Sociedad Colombiana de las Ciencias del Suelo, p. 401-429.
- Bray, R. H. (1954), "A Nutrient Mobility Concept of Soil-Plant Relationships", *Soil Sci.*, 78: 9-23.
- Burbano, Hernán (1988), "El Componente Bioquímico en la Productividad y Fertilidad del Suelo", 3 Ed., Bogotá: en *Fertilidad de los suelos: diagnóstico y control*, Sociedad Colombiana de las Ciencias del Suelo, p. 109-145.
- Capalbo, Susan y Michael Denny (1986), "Testing Long-Run Productivity Models for the Canadian and U.S. Agricultural Sectors", *American Journal of Agricultural Economics*, Agosto: 615-625.
- Clavijo, Jairo (1988), "Los Factores de la Producción Vegetal", en *Fertilidad de los Suelos: Diagnóstico y Control*. 3 Ed., Bogotá: Sociedad Colombiana de las Ciencias del Suelo, p. 19-36.
- Fedecafé –Federación Nacional de Cafeteros de Colombia– (1989), *Manual del Cafetero Colombiano*. Bogotá: 4 Ed.
- Sistema de Información Cafetera, Encuesta Nacional Cafetera, Estadísticas Cafeteras: Fases I-II. Gerencia Técnica, Oficina de Estudios y Proyectos Básicos Cafeteros, Bogotá D.C., Junio de 1996.
- Feder, Gershon (1988), "Farm Size, Risk Aversion and the Adoption of New Technology under Uncertainty", *Oxford Economics Papers*. July, 32: 263-83.
- Feder, Gershon, Richard Just y David Zilberman (1985), "Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: a Survey", *Economics Development and Culture Change*, Enero: 225-98.
- Fuglie, Keith y Darrell Bosch (1995), "Economics and Environmental Implications of Soil Nitrogen Testing: A Switching-Regression Analysis", en *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 77, Noviembre: 891-900.
- Grisales, G., Alfonso (1977), *Suelos de la Zona Cafetera: Clasificación y Uso*. Medellín: Ediciones Fondo de Cultura Cafetero. Diciembre: 1977:
- Guerrero, Ricardo (1988), "Las Recomendaciones de Fertilización: Fundamentos y Aplicaciones", en *Fertilidad de los Suelos: diagnóstico y control*, 3 Ed., Bogotá: Sociedad Colombiana de las Ciencias del Suelo, p. 235-75.
- (1988), "Los Nutrientes de las Plantas", en *Fertilización de Cultivos en Clima Frío*, 1 Ed., Bogotá. p. 10.

- Hiebert, Dean (1974), "Risk, Learning and the Adoption of Fertilizer Responsive Seed Varieties", en *American Journal of Agricultural Economics*, Nov., Vol. 76, 94: 371-384.
- Just, Ricchard E. y David Zilberman (1983), "Stochastics Structure, Farm Size and Technology Adoption in Developing Agriculture", en *Oxford Economics Papers*. August, 35:307-28.
- Lanzae, Edgar y Quirino Paris (1981), "A New Analytical Framework for the Fertilization Problem", en *American Journal of Agricultural Economics*, febrero: 93-103.
- Lopez, Ramón (1992), "The Environment as a Factor of Production: The Economic Growth and Trade Policy Linkages", en *International Trade and the Environment*. Patrick Low, World Bank: 137- 158.
- Lee, L. F. (1978), "Unionism and Wage Rates: A Simultaneous Equations Model with Qualitative and Limited Dependent Variables", en *Int. Econ. Rev*, June; 415-33.
- Paris, Quirino y Keith Knapp (1989), "Estimation of von Liebig Response Functions", en *American Journal of Agricultural Economics*, Feb; 178-186.
- Paris, Quirino (1992), "The von Liebig Hypothesis", en *American Journal of Agricultural Economics*, Nov; 1018-1128.
- Rogers, Everett M. (1983), *Diffusion of Innovations*, 3 Ed., New York: The Free Press.
- Sriramaratnam, David Bessler (1987) *et al*, "Fertilization under Uncertainty: An Analysis Based on Producer Yield Expectations", en *American Journal of Agricultural Economics*, Mayo: 349-357.
- Varian, Hal R. (1992), *Análisis Microeconómico*, 3 Ed., Barcelona: Antoni Bosch Editor.
- Umata (Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria) (1993), *Programa Agropecuario Municipal, Identificación y Caracterización de los Sistemas de Producción Agrícolas y Pecuarios*. La Vega, Diciembre.
- Welch, Finis (1990), "Education in Production", en *Journal of Political Economy*, February, 78: 35-59.
- Willis, R. J. y S. Rosen (1979), "Education and Self-Selection", en *Journal of Politics Economics*, Octubre, s7-s36.