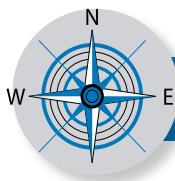


Mamerto Reyes-Hernández Factores implícitos en datos censales que afectan la producción de frijol negro en Chiquimula, Guatemala

86



## Contrapunto

# Factores implícitos en datos censales que afectan la producción de frijol negro en Chiquimula, Guatemala

Mamerto Reyes-Hernández<sup>1</sup>

Mtro. en Economía Agrícola

### Resumen

Con datos publicados del censo agropecuario de 2003 y algunas variables geográficas se ajustó una función de producción de frijol negro para fincas de Chiquimula, Guatemala. Se buscó identificar los factores implícitos en los datos del censo agropecuario que están afectando la producción. El modelo econométrico incluye una ecuación de rendimiento de frijol, una identidad de variables combinadas basadas en factores implícitos de los datos censales, y una identidad para la producción de frijol. La función de producción se obtuvo a partir de la forma reducida del modelo. Los resultados muestran que la producción de frijol en Chiquimula se ve afectada por el área sembrada, sistemas de cultivo y la variable combinada "otros factores no especificados". La altura en que se encuentran los campos y el riesgo de sequía tienen efectos muy marginales. Dentro de la variable combinada, el factor implícito relevante es el uso de agroquímicos, pero no se encontró evidencia que la misma comprenda los efectos del riego y uso de variedades mejoradas de frijol.

### Palabras clave:

Agricultura, función de producción, factores limitantes, frijol negro,

1. Licenciado en Economía por la Universidad de San Carlos de Guatemala y maestro en Economía agrícola por el Colegio de Postgraduados de México. Ha sido profesor de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, así como investigador del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas y consultor independiente en temas agroalimentarios.

**Abstrac**

Data published in 2003 agricultural census and some geographic variables were used to estimate a black bean production function for farms in Chiquimula, Guatemala. The paper seeks to identify the implicit factors in agricultural census data that are affecting the production. The econometric model includes a beans yield equation, an identity of combined variables based on implicit factors from the data census, and an identity for beans production. The production function was obtained from the reduced form of the model. The results show that bean production in Chiquimula is affected by the planted area, cropping systems and the combined variable "other factors not specified". The elevation of fields and the drought risk have very marginal effects. Within the combined variable, the relevant implicit factor is the use of agrochemicals, but no evidence was found to include the effects of irrigation and use of improved varieties of bean.

**Keywords**

Agriculture, production function, limiting factors, black bean.

## 1. Introducción

En investigación agrícola las estadísticas de los censos agropecuarios, como datos publicados que son, permiten muy pocas aplicaciones. En Guatemala, aunque no debe diferir de otros países, la información viene presentada a niveles nacional, departamental y municipal y por tamaños de fincas y muestran directamente su utilidad, por ejemplo, distribución de la tierra, usos de la tierra, formas de tenencia, etc. (INE, 2004a). Para cultivos, los datos además presentan número de fincas productoras, superficies sembradas y producción obtenida (INE, 2004b y 2004c); para especies pecuarias, el formato es similar (INE, 2005).

Por la manera en que los datos están presentados, las aplicaciones de los mismos no permiten llegar muy lejos. Sin embargo, dentro de estas limitaciones, algunos investigadores han definido nuevas fronteras de uso de esta información, como Fuentes López *et al.* (2005) que además de determinar las contribuciones de diferentes zonas geográficas y tamaños de finca a la oferta nacional de maíz, infirieron el flujo de grano entre departamentos. Otro caso es el de Barrios González y Mellor (2006) quienes con información censal estimaron el valor de la producción agropecuaria del altiplano guatemalteco.

En este trabajo se asumió que la información censal al asociarse con datos geográficos, puede ser un poco más poderosa. Este fue un ejercicio de investigación en donde se buscó ajustar una función de producción de un cultivo con información censal publicada, para lo cual se usó el ejemplo de frijol en el departamento de Chiquimula, Guatemala. Para mejorar el análisis se usó también información geográfica de riesgo de sequía y altitud de los municipios, variables que podrían

ser igualmente accesibles en otros países.

Para ajustar la función, los datos del censo agropecuario ofrecen las variables superficie cosechada, producción obtenida y sistemas de cultivo, información que se presenta por tamaño de finca para cada departamento y municipio del país. El censo también considera dos épocas de siembra, pero por la manera en que esta información viene presentada, no es posible estimar las superficies y producciones por finca.

**Como ejercicio de investigación, el objetivo fue identificar los factores que se encuentran implícitos en la información censal y que afectan la producción de frijol.**

La producción de un cultivo por unidad de área es una función de muchos factores, tales como la variedad usada, los niveles de fertilización aplicados, la incidencia de organismos plaga y su control, la capacidad productiva del suelo, el sistema de cultivo, la densidad de siembra y otros factores de manejo y de variables que definen el ambiente

donde se cultiva, los cuales no se encuentran explícitos en la información censal. Como todos estos factores se encuentran implícitos, el desafío es buscar la manera de hacerlos explícitos o al menos hacer explícito el efecto combinado de algunos de ellos.

En este caso, se partió de la siguiente definición: la producción de un cultivo de una finca, zona o región se estima como el producto de la superficie cultivada por el rendimiento. De acuerdo con esta definición, todos los factores que afectan la producción, tales como el germoplasma, los insumos y prácticas de manejo y los factores que definen el ambiente que contiene a la unidad de producción, lo hacen por medio de sus efectos en el rendimiento. Por lo que dentro de esta última variable se encuentran implícitos los factores que se necesitan hacer explícitos en la información censal.

Siguiendo esta perspectiva, con información publicada del IV Censo Nacional Agropecuario (INE, 2004b), el mapa de riesgo de sequía del Ministerio de Agricultura para el departamento de Chiquimula y las altitudes a que se encuentran los municipios de este departamento, las

preguntas guías que se buscó responder en este trabajo fueron las siguientes:

**¿Cuáles son los factores que afectan el rendimiento de frijol negro que pueden hacerse explícitos en una función de producción de este cultivo? Y, ¿cuáles son los efectos que la superficie de cultivo y estos factores tienen en la producción de frijol negro?**

Para resolver el problema de investigación en Economía agrícola existen tres enfoques clásicos para determinar el efecto de los factores productivos en la producción de una actividad económica o rubro productivo. Uno es el enfoque de la participación de los factores que permite hacerlo sin ajustar una función de producción (Solow, 1957, Bernal, 2010).

El segundo es el ajuste de funciones de respuesta a dos o tres factores, el cual generalmente se basa en experimentos en donde se ensayan niveles y combinaciones de tales factores. Con estos ensayos se busca determinar las respuestas a los insumos bajo estudio, así como desarrollar recomendaciones

para agricultores. La bibliografía clásica sobre este tema son los libros de Heady y Dillon (1961) y Dillon y Anderson (1990). En esta tradición se encuentran textos más recientes, como el de Rosales Álvarez et al. (2004) y Reyes Hernández (2014).

**El tercer enfoque se orienta al diagnóstico y aunque no hay reglas generales, se observa que si la producción bajo análisis es una variable agregada, como producción global de una finca, los factores de producción también son agregados, como mano de obra, capital y tierra (Ramírez y Foster, 2003). Pero si el concepto de producción bajo estudio es una variable más desagregada, como el rendimiento de un cultivo, los factores pueden ser más detallados, como densidades de siembra, prácticas de manejo, cantidades de insumos, incidencia de organismos plaga y calidades del suelo (Ruiz de Londoño et al., 1978 y Balañá Ruano, 2003).**

Este último enfoque no tiene muchos registros de aplicación

en la literatura, sin embargo, con el cambio climático global el mismo se podría revitalizar y continuar en evolución, porque es esperable que muchas plagas y enfermedades de cultivos y plantas en general alcancen un mayor nivel de importancia en función directa con este proceso de cambio en cuestión.

Existe un cuarto enfoque para analizar la producción, pero es de naturaleza más agrobiológica y se orienta al análisis de la respuesta del rendimiento de un cultivo al uso de insumos. Se conoce como el enfoque del agrosistema y con el mismo, el rendimiento se concibe como una función del clima, planta, hombre, suelo y tiempo. En esta función, el factor hombre representa al manejo, una mezcla de capacidad de gestión y tecnología; planta representa el germoplasma empleado y sus propiedades productivas; tiempo identifica la época de siembra y la duración del ciclo del cultivo.

Estas tres variables se denominan factores modificables de la producción y constituyen la fuente de problemas que orientan el trabajo de los investigadores en el desarrollo de tecnologías para elevar la capacidad productiva de un cultivo. El clima y el suelo, por

su parte, se denominan factores no modificables, obviamente por las menores posibilidades que existen para influenciarlos en el corto y mediano plazo y constituyen elementos de entorno que limitan o facilitan la respuesta de la producción a cambios en los factores modificables (Turrent Fernández *et al.*, 2005) .

Este enfoque se desarrolló para identificar unidades espaciales en donde la respuesta al uso de insumos de un cultivo es similar u homogénea, sin embargo, su ecuación de rendimiento, como herramienta conceptual puede facilitar la búsqueda de las respuestas a las preguntas con las que acá se definió el problema de investigación.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Descripción general del departamento de Chiquimula

El departamento de Chiquimula se localiza en el nororiente de Guatemala. Limita al norte con el departamento de Zacapa; al sur con la República de El Salvador y el departamento de Jutiapa; al este con la República de Honduras; y al oeste con

los departamentos de Jalapa y Zacapa.

Este departamento posee una superficie de 2,404 km<sup>2</sup> y en la misma existen once municipios, los cuales son: Chiquimula, Camotán, Concepción Las Minas, Esquipulas, Ipala, Jocotán, Olopa, Quezaltepeque, San José La Arada, San Jacinto y San Juan Ermita.

No se ha precisado el significado de Chiquimula. Se cree que proviene del náhuatl Chiquimolín o jilguero. Sin embargo, Wisdon (1961) indica que proviene de los vocablos maya-chortí Tckimul ha', formados por tckik' (canasta), mul o mur (montículo o pirámide) y ha' (agua, río), algo así como "canasta en la ribera del río". Pero también puede haberse formado de las voces chortí tckik (pájaro en general) y mur ha', con lo cual vendría a ser "pájaro en la ribera del río".

La cabecera departamental de Chiquimula es la ciudad de Chiquimula, la cual se encuentra a 169 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. Se comunica con ella por medio de la ruta del Atlántico y la carretera CA-10.

De acuerdo con cifras del Censo Nacional de Población de 2002, este departamento está habitado por 302,485 personas, de las cuales el 51.33% son mujeres y 48.67%, hombres. Su área urbana está habitada por el 26% de su población y su área rural por el 74%. Su población se caracteriza por ser joven, se aprecia que el 49,63% tienen edades de 17 años o menos. El 47.96% de su población es alfabeta, observándose que el alfabetismo femenino es del 47.76% y el masculino del 48.17%. La principal actividad económica es la agricultura, ocupando el 59.27% de su población económicamente activa (INE, 2003).

Chiquimula es un departamento situado en un territorio montañoso formado por la conexión de las sierras Madre y del Merendón. La primera atraviesa el país de occidente a oriente y la segunda viene del mar Caribe hacia el sur. Esta situación le da al territorio de Chiquimula una fisiografía irregular con valles, mesetas y barrancas. Como resultado de esta intersección de las dos sierras, el departamento tiene dos vertientes hidrográficas, una que descarga en el Caribe y otra, que luego de recorrer la República

de El Salvador, desemboca en el océano Pacífico.

De acuerdo con la clasificación de Holdridge (1982), en Chiquimula se observan cuatro zonas de vida: Bosque Húmedo Subtropical Templado, que cubre el 75.45% del territorio; Bosque Seco Subtropical, con una cobertura del 19.59%; Bosque muy Húmedo Subtropical Frío, con 2.84%; Bosque Espinoso Subtropical, con 1.89% y Bosque muy Húmedo Montano Bajo Subtropical, con 0.23% del territorio del departamento (SIGAR, 2004a).

Sin embargo, lo que se percibe al visitarlo es un clima cálido y seco, lo cual es un atributo desarrollado por la conexión directa que las faldas del Merendón tienen con el valle bajo del río Motagua, un territorio semi árido desarrollado por el aislamiento que le producen la sierras de las Minas y del Merendón al amurallarlos. El territorio de Chiquimula, por su parte, se va liberando de la aridez en la medida que asciende hacia las cimas de la sierra del Merendón.

De acuerdo a cifras del Censo Nacional Agropecuario de 2003, el departamento de Chiquimula tiene una superficie en fincas de 79 mil 169 hectáreas (ha), distribuidas en 29 mil 41 fincas. El uso dado a la tierra es el siguiente: 57.12% a cultivos temporales, 9.10% a cultivos permanentes y semipermanentes, 23.87% a pastos, 7.34% son bosques, y 2.58% a algo clasificado como otras tierras (INE, 2004a).

## 2.2. Cultivo de frijol negro en Guatemala y Chiquimula

A nivel nacional, 108 mil 625 unidades de producción cultivan frijol negro en Guatemala, lo hacen en 125 mil 8 ha y producen 41 mil 433 toneladas métricas (tm). En Chiquimula se cultiva frijol en 9 mil 644 fincas, la superficie sembrada es de 9,788 ha y la producción obtenida asciende a 4 mil 925 tm (INE, 2004b). De acuerdo con las cifras nacionales, Chiquimula contribuye con el 5.34% del total

de fincas productoras del país, 7.83% de la superficie nacional cultivada con esta leguminosa y el 11.89% de la producción de Guatemala. Como puede observarse, no es una zona productora principal, pero tampoco es marginal.

El cultivo de esta leguminosa se lleva a cabo principalmente en fincas menores a 3.50 ha. Estas representan el 95.49% de las fincas productoras del país, ocupan el 80.13% de la superficie de frijol negro y contribuyen con el 79.06% de la producción nacional.

En Chiquimula se observa una estructura similar. Las fincas menores a 3.50 ha representan el 89.73% de las fincas productoras de frijol de este departamento, cultivan el 75.45% de la superficie de este grano y aportan el 75.41% de la producción departamental.

### 2.3. El modelo

La producción de frijol negro en la *i*-ésima finca del departamento de Chiquimula, como la de cualquier otro lugar, resulta de multiplicar la superficie sembrada por el rendimiento, esto es,

$$q_i = Superf_i Rend_i \dots\dots\dots (1)$$

En donde, *q* es producción de frijol por finca (kg); *Superf* es superficie sembrada con frijol por finca (hectáreas); *Rend* es rendimiento de frijol (kg/ha); *i* = 1,2,...,n identifica la *i*-ésima finca promedio que corresponde a cada categoría de tamaño finca del IV Censo Nacional Agropecuario (1 es la finca promedio de la primera categoría de tamaño de finca del primer municipio de Chiquimula y *n* es la finca promedio de la última categoría de tamaño de finca del último municipio).

Esta es una función Cobb-Douglas cuyo desplazador "A" y elasticidades producto son unitarias, esto es,

$$q_i = 1(Superf_i)^1(Rend_i)^1 \dots\dots\dots (2)$$

Por tal razón se puede indicar que la producción de una finca determinada posee una elasticidad de escala de 2, es decir, si la superficie y el rendimiento se incrementan simultáneamente en 1%, la producción aumentará en 2%.

Por otro lado, usando algunas variables de los datos censales u otras accesibles y utilizables con los datos censales, como sistemas de cultivo, riesgo de sequía de cada municipio y altitud a que se encuentran éstos, el rendimiento de frijol se puede expresar como una función de estas variables,

$$Rend_i = \alpha + \beta_1 Sistema_i + \beta_2 Sequía_i + \beta_3 Altura_i + e_i \dots\dots\dots (3)$$

En donde, istema es sistema de cultivo (1=monocultivo; 0=asociado); Sequía es riesgo de sequía (proporción del municipio con riesgo de sequía alto, muy alto y extremadamente alto); Altura es altitud del municipio (metros sobre el nivel del mar); y e es el componente aleatorio de error.

De donde se puede inferir, que el efecto combinado del manejo del cultivo, capacidad productiva del suelo, el potencial productivo del germoplasma usado, cantidades de insumos y otros factores omitidos, se puede estimar como el saldo que queda del rendimiento al sustraer de este los efectos de los sistemas de cultivo, el riesgo de sequía y la altura. A este factor se le denominó MSGO por las siglas de los efectos que combina (manejo, suelo, germoplasma y otros factores).

$$MSGO_i = Rend_i - \beta_1 Sistema_i - \beta_2 Sequía_i - \beta_3 Altura_i \dots\dots\dots (4)$$

Que también se puede obtener con la suma del intercepto y el componente aleatorio de error de la ecuación (3), esto es

$$MSGO_i = \alpha + e_i \dots\dots\dots (5)$$

Cabe indicar que en este caso, MSGO queda expresado en kg de frijol negro por hectárea.

Sustituyendo (5) en (3), se tiene que rendimiento también se puede expresar como,

$$Rend_i = MSGO_i + \beta_1 Sistema_i + \beta_2 Sequía_i + \beta_3 Altura_i \dots\dots\dots (6)$$

Ahora, sustituyendo (6) en (2), se tiene que la producción de una finca es,

$$q_i = 1(Superf_i)^1(MSGO_i + \beta_1 Sistema_i + \beta_2 Sequía_i + \beta_3 Altura_i)^1$$

Que al realizar las operaciones indicadas, se tiene,

$$q_i = Superf_i MSGO_i + \beta_1 Superf_i Sistema_i + \beta_2 Superf_i Sequía_i + \beta_3 Superf_i Altura_i \dots\dots\dots (7)$$

La cual constituye un modelo reducido y como en tal, la variable endógena se encuentra en función de todas las variables exógenas. En este caso, la producción de frijol por finca queda expresada como una función de la superficie sembrada con frijol, del sistema de cultivo empleado, riesgo de sequía del municipio en donde se encuentra la finca, altitud del municipio y de la combinación de manejo del cultivo, suelo, germoplasma y otros factores (MSGO).

El modelo econométrico es entonces,

$$Rend_i = \alpha + \beta_1 Sistema_i + \beta_2 Sequía_i + \beta_3 Altura_i + e_i \dots\dots\dots (8.1)$$

$$MSGO_i = Rend_i - \beta_1 Sistema_i - \beta_2 Sequía_i - \beta_3 Altura_i \dots\dots\dots (8.2)$$

$$q_i = Superf_i Rend_i \dots\dots\dots (8.3)$$

El modelo tiene tres variables endógenas, Rend, MSGO y q, y cuatro variables exógenas o predeterminadas, Sistema, Sequía, Altura y Superf. La primera ecuación es una función y la segunda y tercera son definiciones o identidades.

El modelo tiene la propiedad de ser recursivo. Con la primera ecuación se estima la segunda y la tercera. Por tal razón, el método de mínimos cuadrados ordinarios resulta apropiado para su ajuste.

### 2.4. Hipótesis

Se esperaba que el rendimiento fuera mayor cuando el frijol se produzca en monocultivo, respondiera inversamente a cambios en el riesgo de sequía y directamente con el aumento de la altura en que se encontraron los lotes de cultivo.

En este caso, las hipótesis operativas fueron:

Efecto del sistema de cultivo en el rendimiento	Efecto del riesgo de sequía en el rendimiento	Efecto de la altura en el rendimiento
$H_0: \beta_1 = 0$	$H_0: \beta_2 = 0$	$H_0: \beta_3 = 0$
$H_a: \beta_1 > 0$	$H_a: \beta_2 < 0$	$H_a: \beta_3 > 0$

Su estadístico de prueba fue la t Student y el nivel de significancia fue 0.05 de probabilidad a una cola de la distribución de Student.

Los coeficientes de regresión de la función de producción son los mismos que tiene la ecuación de rendimiento, por tanto, su prueba empírica realizada para la función de rendimiento es válida también para el modelo reducido.

### 2.5. Pruebas de homocedasticidad y multicolinealidad

Para probar la ausencia de homocedasticidad se usó el enfoque de White, para lo cual se ajustó la ecuación de White (Gujarati, 2004),

$$e_i^2 = \delta_0 + \delta_1 Sistema_i + \delta_2 Sequía_i + \delta_3 Altura_i + \delta_4 Sistema_i Sequía_i + \delta_5 Sistema_i Altura_i + \delta_6 Sequía_i Altura_i + \delta_7 Sequía_i^2 + \delta_8 Altura_i^2 \dots\dots\dots (9)$$

No se incluyó el cuadrado de Sistema, porque como es una variable binaria, su cuadrado es la misma variable original e introduce multicolinealidad perfecta en la ecuación. Luego con su coeficiente de determinación múltiple se ajustó el estadístico de White,

$$Wh = nR^2 \dots\dots\dots (10)$$

Su criterio de decisión es “si  $Wh > \chi_{\alpha, k}^2$ , se rechaza la hipótesis nula de varianza del error homocedástica”.

Para multicolinealidad se usó el enfoque del Factor de Inflación de la Varianza (FIV) (Gujarati, 2004), el cual es un indicador que se obtuvo con los coeficientes de determinación de las siguientes ecuaciones auxiliares:

$$Sistema_i = \gamma_{10} + \gamma_{11}Sequía_i + \gamma_{12}Altura_i \dots\dots\dots (11.1)$$

$$Sequía_i = \gamma_{20} + \gamma_{21}Sistema_i + \gamma_{22}Altura_i \dots\dots\dots (11.2)$$

$$Altura_i = \gamma_{30} + \gamma_{31}Sistema_i + \gamma_{32}Sequía_i \dots\dots\dots (11.3)$$

A cada una se le estimó su coeficiente de determinación y con este se obtuvo el FIV para la variable que quedó como explicada en una ecuación. El FIV se estimó de la manera siguiente:

$$FIV_j = \frac{1}{1 - R_j^2} \dots\dots\dots (12)$$

Este estadístico no sigue ninguna distribución de probabilidad y por lo mismo, no tiene criterio de significancia. En este caso, se usa el siguiente criterio de decisión: “si  $FIV_j > 10$ , la multicolinealidad puede constituir un problema”.

## 2.6. Los datos

Para ajustar el modelo se empleó información municipal de producción, superficie sembrada y rendimientos de frijol negro por tamaño de finca, altitud de los municipios y proporción del territorio municipal en alto, muy alto y extremadamente alto riesgo de sequía.

Las alturas de los municipios se obtuvieron del Diccionario Geográfico de Guatemala (IGN, 1976). La información de riesgo de sequía se estimó directamente del mapa de riesgo de sequía del Ministerio de Agricultura,

Ganadería y Alimentación (MAGA), preparado por personal del Laboratorio de Información Geográfica y Análisis de Riesgos (figura 1), el resto de variables se tomaron del IV Censo Nacional Agropecuario (INE, 2003b) y están referidas al año agrícola 2002-2003.

Las series de datos de las variables Producción, Superficie y Rendimiento se forman por medias simples de cada tamaño de finca de cada municipio. Sistema es una variable binaria y con ella se separan las fincas que producen frijol en monocultivo y en asociación con otros cultivos. Riesgo de sequía y Altura son variables en donde se codifican con el mismo valor a todos los registros que correspondan a un mismo municipio. De esta manera, las medias simples que se estiman tienen significados diferentes. Para Producción,

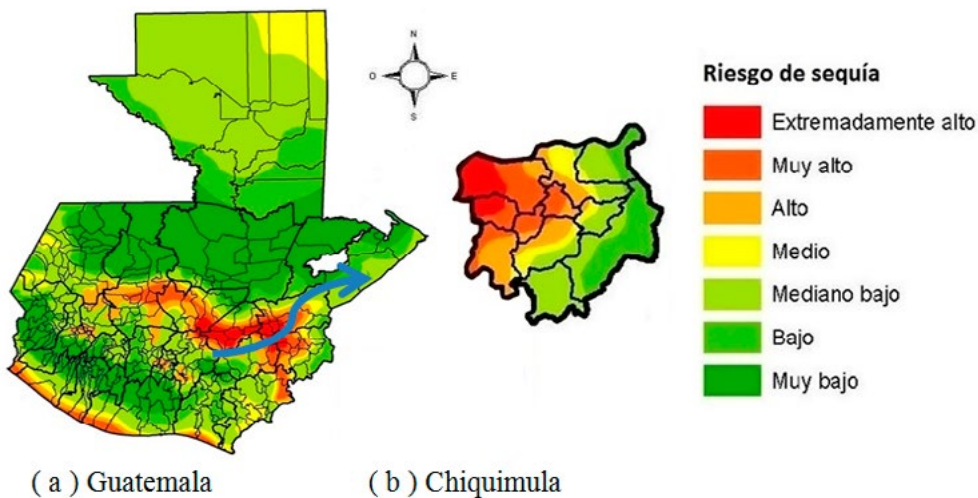
Superficie y Rendimiento son medias de medias, mientras que para Sistema y Riesgo de sequía son proporciones. Para Altura es una media del departamento.

Para el ajuste del modelo se excluyeron tres observaciones, las cuales eran atípicas para la

variable superficie cultivada de frijol. En estos casos, las fincas promedio en cada categoría de tamaño de finca, cultivaban frijol en 20.97, 25.51 y 67.09 ha, superficies muy por arriba de las áreas sembradas por la mayoría de productores de frijol del departamento.

Figura 1

Mapas de riesgo de sequía de Guatemala y del departamento de Chiquimula 2002



Fuente: Preparada con información del Laboratorio de Información Geográfica y Análisis de Riesgos, MAGA. 2002.

### 3. Resultados

#### 3.1. Estadísticos descriptivos de las variables

Algunos estadísticos descriptivos de las variables del modelo se presentan en el cuadro 1. La variabilidad de los datos de todas las variables es alta. Esto se percibe con la oscilación de los valores de las series de datos (mínimos y máximos) y se toma una mejor idea con los coeficientes de variación.

En este cuadro también puede observarse que las distribuciones de frecuencias de todas las variables son asimétricas y estrictamente, ninguna es mesocúrtica, es decir, ninguna sigue la distribución normal. Las variables Producción, Superficie, Rendimiento, Riesgo de sequía y Altura, tienen asimetrías positivas, es decir, tienen distribuciones en

donde la media se localiza a la derecha de la mediana. Sistema, por su parte, tiene asimetría negativa, es decir, la media se ubica a la izquierda de la mediana.

Respecto a curtosis, Producción, Superficie, Rendimiento y Altura, son leptocúrticas, es decir, en sus distribuciones de frecuencias, la mayoría de valores se concentran muy cerca de la media. Sistema y Sequía, son platicúrticas, es decir, muestran frecuencias con pesos relativos similares en todas las clases arriba y debajo de la media.

Finalmente, con la prueba de Shapiro-Wilk se confirma que ninguna de las variables sigue la distribución normal, aunque cabe indicar que Rendimiento fue la única variable cuya distribución de frecuencias forma una campana.

**Cuadro 1****Estadísticos descriptivos de las variables del modelo econométrico****Chiquimula, Guatemala****Año agrícola 2002-2003**

Estadístico	Producción (kg)	Superficie (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Sistema	Sequía (proporción)*	Altura (msnm)
Mínimo	124.61	0.18	220.67	0	0	424.00
Máximo	9,933.84	11.88	1,622.55	1	1	1,350.00
Media	1,049.75	1.67	626.32	0.52	0.51	671.43
Mediana	731.43	1.16	600.86	1	0.33	569.00
Moda	771.12	2.1	475.95	1	1	450.00
Desviación estándar	1,236.91	1.71	209.56	0.5	0.45	278.20
Coefficiente de variación	117.83	102.4	33.46	96.15	88.24	41.43
Coefficiente de asimetría	4.09	3.06	1.4	-0.07	0.08	1.24
Curtosis	23.37	12.52	4.04	-2.02	-1.85	0.69
Shapiro-Wilk	0.62**	0.69**	0.92**	0.64**	0.74**	0.80**
Número de observaciones	141	141	141	141	141	141

\* Proporción del municipio con riesgo alto, muy alto y extremadamente alto a sequía.

\*\* Altamente significativa para no normalidad.

Fuente: Preparado con datos de INE (2004b) e IGN (1976).

Los valores promedio indican que en la finca promedio de Chiquimula se cultivan 1.67 ha de frijol negro y se obtiene una producción de 1,049.75 kg de este grano. El 52% de las fincas produce frijol en sistema de monocultivo. El 51% se encuentra en territorios con un riesgo de sequía alto, muy alto y extremadamente alto. El rendimiento promedio de frijol es bajo, se obtienen 626.32 kg/ha.

En general, la alta variabilidad observada en las variables es apropiada para ajustar el modelo econométrico. Por otra parte, aunque la ausencia de normalidad en los datos de las variables obtenidas del censo agropecuario: Superficie y Producción, se transmitió directamente a la variable Rendimiento y de esta al componente aleatorio de error de su ecuación de regresión,

esta violación del supuesto de normalidad del error no constituye un problema para la inferencia estadística, dado el tamaño de la muestra usada en este trabajo (141 observaciones), ya que en muestras grandes, los estimadores de los parámetros siguen una distribución normal (obviamente bajo los supuestos de homocedasticidad y variables explicativas fijas), aun en el caso en que los errores no estén normalmente distribuidos (Gujarati, 2004). Por lo que la prueba de F sobre la relevancia global de la regresión y las pruebas de t sobre los parámetros de la ecuación, son válidas.

### 3.2. Ecuación de rendimiento de frijol

En el cuadro 2 se presenta la función de respuesta del rendimiento de frijol y las pruebas de significancia de la relevancia global de la regresión y sobre los parámetros estimados de la función. En los cuadros 3 y 4, por su parte, se presentan los diagnósticos de heterocedasticidad y multicolinealidad, respectivamente.

Antes de presentar los resultados del cuadro 2 es necesario indicar

que el componente aleatorio de error, de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk no sigue una distribución normal (W de Shapiro-Wilk: 0.88 y significativa al  $2.15 \times 10^{-9}$  de probabilidad). Sin embargo, como se indicó en el último párrafo del inciso sobre estadísticos descriptivos de las variables, dado el tamaño de la muestra (141 observaciones), la ausencia de normalidad del error no es un problema para la inferencia estadística.

Por otro lado, el estadístico de White presentado en el cuadro 3 no es significativo a un nivel menor o igual al 0.05 de probabilidad, lo cual indica que la varianza del error es homocedástica. Respecto a multicolinealidad, los tres factores de inflación de la varianza presentados en el cuadro 4 son menores a 10, con lo cual se descarta que esta represente un problema.

En ausencia de heterocedasticidad y multicolinealidad, las pruebas de significancia de la función de respuesta del rendimiento de frijol son válidas, por lo que a continuación se presentan estos resultados. La prueba de F indica que aunque la proporción de

ajuste de la ecuación a los datos no es muy alta ( $R^2$  de 0.46), la misma sí es relevante, es decir, constituye una base para hacer inferencias sobre los parámetros

del modelo. Por otro lado, se puede esperar que al menos uno de los parámetros estimados sea diferente de cero.

### Cuadro 2

Función de respuesta del rendimiento de frijol negro

Chiquimula, Guatemala

Año agrícola 2002-2003

Variable	Coefficiente de regresión	Error Estándar	$t$	Significancia a una cola (probabilidad)
Intercepto	421.45344	48.55608	8.680	5.191(10 <sup>-15</sup> )
Sistema	283.57562	26.20953	10.820	2.105(10 <sup>-20</sup> )
Sequia	8.51101	32.17532	0.265	0.396
Altura	0.08002	0.05222	1.532	0.064
$R^2 = 0.4636$				--
$F(3 \text{ \& } 137) = 39.471$				1.898(10 <sup>-18</sup> )
$n = 141$				--

Fuente: Resultados de análisis de datos de INE (2004b) e IGN (1976)

**Cuadro 3**
**Ecuación de White para probar ausencia/presencia de heterocedasticidad**
**en la función de respuesta del rendimiento de frijol negro**
**Chiquimula, Guatemala**
**Año agrícola 2002-2003**

<b>Variable</b>	<b>Coefficiente de regresión</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>t</b>	<b>Significancia</b>
Intercepción	52245.71261	69811.86015	0.748	0.456
Sistema	-30184.84679	40650.29976	-0.743	0.459
Sequía	48792.36980	98788.71266	0.494	0.622
Altura	-126.90615	158.47079	-0.801	0.425
Sistema Sequía	7037.67337	28178.73319	0.250	0.803
Sistema Altura	80.47701	45.67212	1.762	0.080
Sequía Altura	-37.42161	78.93759	-0.474	0.636
Sequía <sup>2</sup>	-26347.47522	71785.72636	-0.367	0.714
Altura <sup>2</sup>	0.07733	0.08419	0.919	0.360
R <sup>2</sup> = 0.0925				--
F(8 & 132) = 0.093				0.108
n = 141				--
Estadístico de White <i>Wh</i> (8) = 13.045				0.110

Fuente: Resultados de análisis de datos de INE (2004b) e IGN (1976).

**Cuadro 4**

**Factores de inflación de la varianza de las variables explicativas de la  
función de respuesta del rendimiento de frijol  
Chiquimula, Guatemala  
Año agrícola 2002-2003**

<b>Variable dependiente</b>	<b>Factor de Inflación de la Varianza</b>
<b>Sistema</b>	<b>1.005</b>
<b>Sequía</b>	<b>1.228</b>
<b>Altura</b>	<b>1.228</b>

Fuente: Resultados de análisis de datos de INE (2004b) e IGN (1976).

De este modo, las pruebas de *t* a una cola de los coeficientes de la función de rendimiento presentadas en el cuadro 1 indican que el intercepto es significativamente positivo, así como también lo es el coeficiente de regresión de la variable Sistema. Además estas pruebas indican que los efectos en el rendimiento del riesgo de sequía y de la altura del municipio no son significativamente diferentes de cero.

### 3.3. La función de producción

La función de producción de frijol obtenida luego de las sustituciones que requiere el modelo econométrico para llegar a la forma reducida es la siguiente:

$$q_i = Superf_i MSGO_i + 283.57562 Superf_i Sistema_i + 8.51101 Superf_i Sequía_i + 0.08002 Superf_i Altura_i$$

Como su interpretación no puede hacerse directamente debido a las interacciones que aparecen en cada término, el efecto de cambios en los factores productivos se hizo usando elasticidades producto (cuadro 5).

Las elasticidades del cuadro 5 indican que si todos los factores

se incrementarían en 1%, la producción aumentaría 1% derivado del incremento de la superficie sembrada, 0.234% por aumentar la proporción de fincas produciendo en sistema de monocultivo de frijol, 0.007% por incrementar la proporción de fincas produciendo en zonas de riesgo alto, muy alto y

extremadamente alto de sequía, 0.086% por aumentar la siembra en terrenos más altos y 0.673% por incrementar el uso del factor combinado MSGO. La elasticidad de escala, la suma de las elasticidades individuales, es 2 como se definió en la ecuación (2).

#### Cuadro 5

Elasticidades producto de superficie, sistema de cultivo, riesgo de sequía, altura a que se encuentra el municipio y de la variable combinada manejo, suelo, germoplasma y otros factores Chiquimula, Guatemala Año agrícola 2002-2003

Variable	Medias	Elasticidad
Superficie	1.67	1.000
Sistema	0.52	0.234
Sequía	0.51	0.007
Altura	671.43	0.086
Variable combinada manejo, suelo, germoplasma y otros factores (MSGO)	421.45	0.673
Producción*	1047.06	
Elasticidad de escala		2.000

\* Obtenida como el producto de superficie por rendimiento en sus valores medios. Es un valor similar a la media simple de producción (1,049.75 kg). La diferencia se debe a la asimetría de las distribuciones de superficie y rendimiento.

Fuente: Resultados de análisis de datos de INE (2004b) e IGN (1976)

## 4. Discusión

De los factores usados explícitamente en la función de rendimiento, solamente sistema de cultivo registró efectos significativos. Su coeficiente de regresión indica que los productores que cultivan frijol en monocultivo obtienen 283.58 kg/ha arriba de lo que obtienen los que usan sistemas de asociación. Otros estudios apoyan este hallazgo. Ruiz de Londoño *et al.* (1978) encontró que en la región Huila-Nariño en Colombia, por cada mil plantas en que se incrementa la población de maíz en la asociación, el rendimiento de frijol se reduciría en 12.10 kg/ha. En Guatemala, en el altiplano central se encontró que con el cultivo de frijol en asociación el rendimiento es inferior en 429.68 kg/ha al obtenido en monocultivo (Reyes Hernández, 2014).

El sistema de cultivo es una variable importante en el cultivo de esta leguminosa, pero ofrece muchas dificultades para modificarse, ya que en una zona minifundista como Chiquimula, el uso de sistemas de cultivos asociados tiene dos lógicas, en la primera es una medida para intensificar el uso de la tierra, un factor muy escaso y por otro

lado, es una medida de seguridad para enfrentar riesgos por plagas, enfermedades y eventos meteorológicos irregulares.

En este sentido, aunque la asociación reduce los rendimientos de los cultivos en el sistema respecto a sus monocultivos, para producir las mismas cantidades en monocultivo de cada especie, en total se requiere más tierra. Ebel *et al.* (2017), experimentalmente encontraron que para producir en monocultivo lo mismo que 1 ha de maíz+frijol se necesitan 1.9 ha y para producir lo mismo que 1 ha de la asociación maíz+frijol+calabazas, en monocultivo se necesitan 1.6 ha.

Por otra parte, personal del CIAT (1989) indica que en una asociación, el segundo cultivo sustituye a las malezas, eliminando con ello la competencia de estas por luz, agua y nutrientes. Respecto a riesgos climáticos, Barrales (1997) encontró que en Tlaxcala, México, el cultivo de maíz y frijol asociados, redujo el daño por heladas en ambas especies. Ebel

et al. (2017) encontraron que la incidencia de enfermedades propias de cada especie en un sistema de asociación fue menor que cuando cada una se sembró en monocultivo.

**Sobre los coeficientes de regresión que no fueron significativos, cabe indicar primero que el coeficiente de regresión de riesgo de sequía indica que al pasar de un territorio con una proporción de riesgo de "0" a otro con una proporción de "1", el rendimiento se vería incrementado en 8.51 kg/ha, un monto tan pequeño que la prueba de t lo considera diferente de cero.**

Esta variable está medida como la proporción del territorio municipal con riesgo alto, muy alto y extremadamente alto de sequía y al no registrar significancia está indicando que indistintamente del nivel que tenga la proporción del territorio en riesgo de sequía, el rendimiento es el mismo, lo cual no debe interpretarse como que este factor no es relevante para el rendimiento de manera universal, sino más bien que bajo las condiciones de Chiquimula, los rangos que toma esta variable

no permiten capturar diferencias de rendimiento.

Por otro lado, la ausencia de significancia para riesgo de sequía indica que este riesgo no es tan alto como se puede asumir para una zona que se percibe como árida. Chiquimula es parte del llamado cinturón seco de Guatemala. Sin embargo, la zona tiene precipitaciones pluviales que no permite calificarla como desierto (cuadro 6).

Sin embargo, la precipitación pluvial no dice mucho ella sola. Si el territorio es realmente árido, mucha del agua recibida se perderá. En este sentido, cabe indicar que se estima que en un territorio semiárido, el 50% del total de las precipitaciones generalmente vuelve a la atmósfera por evaporación o evapotranspiración, el 30 % se convierte en agua superficial a través de la escorrentía y el 20% recarga las aguas subterráneas. En una zona árida, el 70% del total de la precipitación generalmente vuelve a la atmósfera por evaporación o evapotranspiración, el 29 % se convierte en agua superficial a través de la escorrentía y sólo el 1% recarga las aguas subterráneas (INSIVUMEH, sf).

**Cuadro 6****Precipitación pluvial para las zonas de riesgo de sequía****Chiquimula, Guatemala**

<b>Tipo de riesgo de sequía</b>	<b>Precipitación pluvial anual (cc)</b>
Extremadamente alto	500 a 599
Muy alto	700 a 799
Alto	800 a 899
Medio	900 a 999
Medio bajo	1000 a 1099
Bajo	1200 a 1299
Muy bajo	1400 a 1799

Fuente: SIGAR (2004b)

Finalmente, el cultivo de frijol negro en Guatemala en zonas de precipitación pluvial más alta y con mejor distribución durante la temporada lluviosa, como el altiplano central, Quiché y el sur de Petén, enfrenta problemas de enfermedades fungosas como roya, antracnosis y otras. Por tanto, si el signo del coeficiente de regresión de la variable riesgo de sequía es el correcto (aunque la prueba de t no permite sostenerlo), estaría indicando que en la medida que aumenta la proporción de riesgo de sequía del territorio de un municipio, mayor es el rendimiento, por lo que el aumento del riesgo de sequía debería tomarse como una disminución del riesgo por enfermedades fungosa.

Este razonamiento puede ser válido incluso en el caso en que este coeficiente de regresión no sea significativamente diferente de cero, como el encontrado en este trabajo, pues si esta variable es la inversa de una proxy de riesgo de enfermedades fungosas, la ausencia de significancia indicaría que estas enfermedades no son un problema que afecte el rendimiento en este departamento o que los niveles en que se manifiestan no lo constituyen.

La altura sobre el nivel del mar de los municipios es otra variable que tampoco registró significancia en la ecuación de rendimiento. Esta ausencia de significancia tampoco debe tomarse como una regla universal de que la altura no es relevante, en su lugar,

la misma está indicando que dentro del rango de alturas de los municipios de Chiquimula (424 a 1,350 metros sobre el nivel del mar, ver cuadro 1), las diferencias de altura no generan diferencias de rendimiento, lo cual puede estar evidenciando que en esta zona del país, la altura sobre el nivel del mar no es el factor de mayor relevancia para definir el ambiente que contiene al cultivo de frijol.

En gran parte del territorio de este departamento, el ambiente prevaleciente es semi árido indistintamente de la altura sobre el nivel del mar en que se encuentren, lo cual es el resultado del aislamiento que produce la sierra del Merendón en su descenso hacia el Valle del Motagua en Zacapa, un territorio de mayor aridez que se forma por el amurallamiento que producen las sierra de las Minas en el noroccidente del departamento de Zacapa y la del Merendón en el oriente de Chiquimula, como ya se indicó, aislando del resto del país, su geología y ecología en general.

El coeficiente de determinación de la ecuación de rendimiento tiene una magnitud de 0.4636, que indica que existen otros factores que no están explícitamente

considerados en la ecuación y que explican el 53.54% de la variación del rendimiento. Estos factores se combinan en la variable MSGO y representan el manejo, la capacidad productiva del suelo, el potencial productivo del germoplasma usado y otros factores.

**Es muy difícil hacer explícitos estos factores individualmente, pero juntos registran un efecto muy importante para explicar la producción por finca. De acuerdo con su elasticidad producto, si todos los factores en la función se incrementan en 1%, la producción se incrementará en 2%, de los cuales MSGO contribuye con el 0.673%. Si solo el rendimiento se incrementara en 1%, la producción se incrementaría en 1%, pero dos tercios del mismo serían por efecto del incremento de MSGO.**

Si se asume que la capacidad productiva del suelo es la misma en todo el territorio, algo que no es totalmente válido para Chiquimula pero que si se podría asumir, se esperaría que el 67.3% del incremento del rendimiento

Mamerto Reyes-Hernández Factores implícitos en datos censales que afectan la producción de frijol negro en Chiquimula, Guatemala

111

provenza de cambios en el manejo, el germoplasma y otros factores. Ahora, si manejo y germoplasma, se combinan en un solo factor llamado tecnología, este 67.3% del incremento de los rendimientos provendría de cambios en la “tecnología y otros factores”, con lo cual quedaría evidenciada la relevancia que el cambio tecnológico tiene en el cultivo de frijol como la posee en todo proceso productivo.

Con la finalidad de identificar cuáles son los componentes de la tecnología que están contribuyendo en la formación de la elasticidad producto de la “tecnología y otros factores”, se revisó la encuesta agropecuaria de 2008 (INE, 2008), la última encuesta en donde se indagó sobre el uso de insumos en los cultivos y se encontró que a nivel nacional y en el departamento de Chiquimula, los insumos más usados en el cultivo de frijol negro son los fertilizantes y plaguicidas químicos (76.12 y 65.71% de las fincas, respectivamente). El uso de semilla mejorada es muy bajo a nivel nacional (se observa en el 4.87% de la fincas) y en Chiquimula, ninguna finca la ocupa. El uso de riego, por su parte, también es muy bajo (2.10% de las fincas de

Chiquimula). En Guatemala, este insumo se usa principalmente en cultivos con mayor valor en el mercado, como las hortalizas.

Con esta información se puede argumentar que los componentes de la tecnología que han apoyado la formación de la elasticidad producto de la “tecnología y otros factores” son el uso de agroquímicos. El riego y la semilla mejorada no han desempeñado un papel importante en este proceso. El primero porque registra un uso muy bajo y la segunda porque no se usa en este departamento.

En otros trabajos sobre factores que inciden en el rendimiento de frijol, el uso de semilla mejorada ha sido de alta relevancia. Ruiz de Londoño et al. (1978) encontró que los agricultores que emplean semilla certificada obtienen rendimientos que son más altos en 185.90 kg/ha que los rendimientos de los que no usan este insumo. Por su parte, Reyes Hernández (2014) determinó que por cada 1% en que aumente el área sembrada con semilla mejorada, el rendimiento aumentará en 14.33 kg/ha.

## 5. Conclusiones

Los factores que afectan el rendimiento de frijol negro en Chiquimula son el sistema de cultivo empleado y un conjunto combinado de factores que incluye manejo del cultivo, suelo, germoplasma y otros.

Por su parte, los principales factores que afectan la producción de frijol son la superficie sembrada y los dos factores que afectan el rendimiento.

De las variables que comprende el factor combinado, es posible que las relevantes para afectar el rendimiento y la producción sean los fertilizantes y plaguicidas químicos, dado su empleo relativamente alto en el departamento y no el uso de variedades mejoradas y riego, los cuales o no se emplean en su territorio o su uso es muy bajo.

## 6. Implicaciones de política

Una implicación de este trabajo, es el efecto que en la producción de la finca tiene el aumento de la superficie cultivada con frijol. Esta variable tiene una elasticidad producto unitaria, la cual indica que la proporción en

que se incrementa la producción es de la misma magnitud en que se incremente la superficie. Esta observación es importante para los programas de crédito agrícola actuales que operan en el Fondo de Tierras y que están orientados a la producción de granos básicos en unidades campesinas. Si se busca duplicar la disponibilidad de frijol, se debe duplicar el financiamiento para arrendamiento de tierras.

El cambio de sistemas de cultivo puede ser positivo para apoyar la producción de frijol, sin embargo, las medidas a tomar para inducir este cambio deben ponerse en ejecución luego de evaluar el costo que tendrían en términos de una menor disponibilidad de maíz en la finca, el otro grano que acompaña al frijol en la asociación de cultivos. Por otro lado, debe evaluarse también el mayor requerimiento de tierra que exige la siembra de estos granos en monocultivo.

La importancia que el factor MSGO, una variable combinada que comprende tecnología, suelos y otros factores, registra en el rendimiento y en la producción de frijol por finca, puede estar fundamentada en el uso de agroquímicos y no en el potencial productivo del germoplasma,

la irrigación y la diferenciación de la capacidad productiva de los suelos. Obsérvese que el uso de semilla mejorada parece ser nulo en todo el territorio de Chiquimula y la irrigación es usada por un porcentaje muy bajo de las fincas productoras de frijol negro. Por su parte, los suelos por compartir una historia geológica común en todo el territorio, pueden considerarse constantes.

De este razonamiento emerge directamente una implicación de política y esta se refiere al uso de semillas mejoradas. Si estas no se están usando, lo obvio es transferirlas a los productores y hacer que se usen. Para esta zona, en Guatemala se dispone de variedades del Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícolas (ICTA) resistentes a enfermedades y de altos rendimientos-

Estas variedades, por la prolongada ausencia del servicio de extensión agrícola en Guatemala y de la dormancia a que fue sometido el ICTA desde la época de los ajustes estructurales traumáticos de los años 90, es comprensible que no se usen en la zona. Pero ahora que existe nuevamente el servicio de extensión, la transferencia de ellas es una necesidad que debe atenderse urgentemente.

#### Referencias bibliográficas

- Balañá Ruano, P. J. (2003) *Determinación del efecto económico de los nematodos fitoparasíticos en el cultivo de café (Coffea arabica L.) en la finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso, San Marcos*. Tesis de ingeniero agrónomo. Guatemala: Universidad de San Carlos.
- Barrales, J. S. (1997) La asociación maíz-frijol, como alternativa para agricultura con problemas de heladas. *Agronomía Mesoamericana*, 8(2), 121-126.

- Barrios González, J. M. y Mellor, J. (2006) *Distribución sectorial del crecimiento del empleo en el altiplano guatemalteco*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
- Bernal, J. R. (2010). El residuo de Solow revisado. *Revista Economía Institucional* 12(23), 347-361.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (1989) *Información básica sobre la competencia entre malezas y los cultivos: Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad auditorial sobre el mismo tema*. Cali, Colombia: CIAT.
- Dillon, J.L., & Anderson, J. R. (1990) *The analysis of response in crop and livestock production*. 3th Edition. Oxford: Pergamon Press.
- Ebel, R., Pozas Cárdenas, J. G.; Soria Miranda, F. y Cruz González, J. (2017) "Manejo orgánico de la milpa: rendimientos de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo". En *Terra Latinoamericana* 35(2): 149-160.
- Fuentes López, M. R.; Van Etten, J.; Ortega Aparicio, A. y Vivero Pol, J. L. (2005) *Maíz para Guatemala: Propuesta para la reactivación de la cadena agroalimentaria del maíz blanco y amarillo*. Serie PESA-Investigación No. 1. Guatemala: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Gujarati, D. (2004) *Econometría*. 4ta edición. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
- Heady, E.O., and Dillon, J. L. (1961) *Agricultural production functions*. Ames: Iowa State University Press.
- Holdridge, L.R. (1982) *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Instituto Geográfico Nacional (1976) *Diccionario Geográfico de Guatemala*. Tomo I. Guatemala: Tipografía Nacional.
- Instituto Nacional de Estadística (2003) *XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación 2002*. Guatemala: INE.
- Instituto Nacional de Estadística (2004a) *IV Censo Nacional Agropecuario. Características Generales de las Fincas Censales y de Productoras y Productores Agropecuarios*. Tomo I. Guatemala: INE.
- Instituto Nacional de Estadística (2004b) *IV Censo Nacional Agropecuario. Número de Fincas Censales, Superficie Cosechada, Producción Obtenida de Cultivos Anuales o Temporales y Viveros*. Tomo II. Guatemala: INE

- Instituto Nacional de Estadística (2004c) *IV Censo Nacional Agropecuario. Número de Fincas Censales, Superficie Cultivada y Producción Obtenida de Cultivos Permanentes y Semipermanentes*. Tomo III. Guatemala: INE.
- Instituto Nacional de Estadística (2005) *IV Censo Nacional Agropecuario. Número de fincas censales, existencia animal, producción pecuaria y características complementarias de la finca censal y del productor(a) agropecuario*. Tomo IV. Guatemala: INE.
- Instituto Nacional de Estadística (2008) *Encuesta Nacional Agropecuaria 2008*. Guatemala: INE.
- Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (S/f.) *El ciclo hidrológico y control del agua*. Guatemala: INSIVUMEH.
- Ramírez, E.P., y Foster, W. (2003) "Análisis de la oferta de mano de obra familiar en la agricultura campesina de Chile". En *Cuadernos de Economía* 40(119):89-110.
- Reyes Hernández, M. (2014) *Algunas funciones de producción usadas en la asignación óptima de insumos y diagnóstico de cultivos: propiedades económicas y enfoques para su ajuste empírico*. Guatemala: Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos.
- Rosales Álvarez, R.; Apaza-Mamani, E. y Bonilla-Londoño, A. (2004) *Economía de la producción de bienes agrícolas, teoría y aplicaciones*. Documento CEDE 2004-34. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.
- Ruíz-de-Londoño, N.; Pinstруп-Andersen, P.; Sanders, J. H. e Infante, M.A. (1978) *Factores que limitan la productividad de frijol en Colombia*. Cali, Colombia: CIAT.
- Sistema de Información Geográfica y Análisis de Riesgo (2004a) *Mapa de zonas de vida de Holdridge*. Guatemala: SIGAR /Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Sistema de información Geográfica y Análisis de Riesgo (2004b) *Mapa de precipitación pluvial*. Guatemala: SIGAR / Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Solow, R. M. (1957) "Technical Change and the Aggregate production Function". En *The Review of Economics and Statistics*, 39(3):312-320.
- Turrent Fernández, A.; Laird, R. J.; Cortés, J. I. y Volke Haller, V. (2005) "Un reencuentro con la productividad de agrosistemas: fundamentos y herramientas". En *Agrociencia* 39(1):29-39.
- Wisdon, C. (1961) *Los chortí de Guatemala*. Guatemala: Seminario de Integración Social / Editorial José de Pineda Ibarra.