

# Eficiencia técnica del cultivo de cacao en Nicaragua

Luisa López Merlo\*

## Resumen

Este estudio realiza un análisis geoespacial de eficiencia técnica de los productores de cacao mediante modelos de fronteras estocásticas de ingresos. Se utilizan variables productivas, sociales, y ambientales, con información del IV Censo Nacional Agropecuario (IV-CENAGRO), y de la Encuesta Especializada de Cooperativas de Cacao. Los resultados sugieren que el ingreso del rubro cacao es sensible a cambios en temperaturas, precipitaciones, y área cultivada. La eficiencia técnica promedio mediante el modelo utilizado es de 45.0 por ciento con información del IV-CENAGRO y de 50.4 por ciento con datos de la encuesta.

**Palabras Clave:** Análisis espacial, Frontera estocástica, Productividad, Ingreso

**Códigos JEL:** C21, D24, Q12

---

\*La autora agradece los valiosos comentarios y sugerencias de Mario Aráuz Torres. Para comentarios comunicarse al correo: [luisaamandalopezmerlo@gmail.com](mailto:luisaamandalopezmerlo@gmail.com). El contenido de este documento es de exclusiva responsabilidad de su(s) autor(es) y no necesariamente representa la posición oficial del Banco Central de Nicaragua.

## 1. Introducción

En Nicaragua, al igual que en la mayoría de los países de América Latina, la pobreza es mayor en las áreas rurales. Éstas suelen experimentar un menor crecimiento, también enfrentan problemas de productividad, y carecen de vínculos importantes con el resto de la economía, lo que afecta a los productores y a sus familias (cf. [Torero et al. 2009](#), p. 114). Por ello, impulsar estrategias para aumentar la productividad y mejorar los ingresos en el medio rural, debería ser prioridad para los países, particularmente en aquellos con economías predominantemente agrícolas (Ibid).

El gobierno de Nicaragua ha implementado políticas públicas que fomentan el desarrollo de algunos cultivos en zonas rurales con extrema pobreza, bajo un esquema de sostenibilidad económica y ambiental. Como resultado, se ha observado un mejor dinamismo del sector agrícola, destacando la producción de cacao, como rubro de interés nacional. La calidad del cacao nicaragüense ha otorgado al país reconocimiento como exportador de cacao fino. Si bien, se ha avanzado en temas relevantes para el mercado externo, se cuenta con una marca de país, y con una estrategia de acceso a mercados, aún existen retos importantes en materia de productividad, agregación de valor, y gestión de información de los productores, entre otros.

Este trabajo intenta determinar la eficiencia técnica del cultivo de cacao baba en Nicaragua a través de la estimación de un modelo de frontera estocástica de ingreso. Para ello, se consideran indicadores referentes a condiciones productivas, sociales y ambientales, con información geográfica micro localizada. Se usa el método de emparejamiento de datos climáticos con información del IV-CENAGRO 2011 y de la Encuesta Especializada de Cooperativas de Cacao, lo que permitió estimar las elasticidades de insumos y el cambio en el ingreso de los productores de cacao. También se calculó la eficiencia técnica y el ingreso potencial considerando variables climáticas y prácticas agrícolas. Los resultados sugieren que el ingreso es sensible a cambios en temperaturas, precipitaciones, y área cultivada. La eficiencia técnica promedio mediante el modelo utilizado es de 45.0 por ciento con información del IV-CENAGRO y de 50.4 por ciento con datos de la encuesta.

El documento está organizado de la siguiente manera: la sección 2 aborda la revisión de literatura; la sección 3 presenta el marco teórico-metodológico de las funciones de ingresos y el método de análisis geoespacial; la sección 4 ofrece los resultados de las estimaciones, y se concluye en la sección 5.

## 2. Revisión de Literatura

Existe una amplia literatura referente al uso de modelos de fronteras estocásticas (véase [Kumbhakar et al. 2015](#)). Este enfoque se ha utilizado en diversas ocasiones para estimar tasas de eficiencia de productores agrícolas en países en desarrollo (cf. [Torero et al. 2009](#), p. 117). El método se fundamenta a partir de la teoría del productor, en la que la motivación de un agente es un criterio de optimización. No obstante, los procedimientos de estimación asociados con este enfoque permiten fallas en los intentos de optimización y diferentes grados de éxito (eficiencia) entre los productores. Esto, a su vez, abre la posibilidad de analizar las determinantes de la variación en la eficiencia con la que los productores intentan alcanzar sus objetivos (*Ibid*).

Mediante el uso de modelos de frontera de producción, [Grau et al. \(1995\)](#) realizan un estudio sobre eficiencia técnica y comportamiento tecnológico de establecimientos lecheros en Uruguay, considerando variables como tamaño de establecimientos, nivel tecnológico, y resultados económicos. Según los autores, el método permite comparar a los establecimientos entre sí y estimar el grado de eficiencia con la cual es utilizada la tecnología (*Ibid*, p. 25). Los hallazgos sugieren que la eficiencia técnica de los establecimientos considerados supera el 90 por ciento, concluyendo que para lograr mayores niveles de productividad y rentabilidad, se deben realizar modificaciones tecnológicas. Sin embargo, los autores advierten que los resultados no se pueden generalizar al conjunto de la producción lechera, ya que estos únicamente son aplicables a los productores del programa CREA (*Ibid*, p.23).

Relacionado con lo anterior, [Wang \(2001\)](#) estima la eficiencia técnica de 70 establecimientos lecheros en Pensilvania y Vermont, utilizando una frontera de producción estocástica basada en una muestra transversal. A diferencia de [Grau et al. \(1995\)](#), las estimaciones se calculan y comparan bajo tres supuestos de distribución de los términos de perturbación de la eficiencia en la frontera estocástica i.e., semi-normal, normal truncada y exponencial. Los resultados indican que, mientras la eficiencia técnica promedio es de 85 por ciento, las explotaciones de mayor tamaño son técnicamente más eficientes que las más pequeñas. Además, el autor encuentra que todos los establecimientos presentan rendimientos decrecientes a escala.

En esta misma línea, [Contreras et al. \(2015\)](#) realizaron un estudio para determinar la eficiencia técnica de los pequeños productores bovinos en la región centro sur de Chile. Los resultados indican que la eficiencia técnica

media de los productores pertenecientes a la comuna de San Carlos (83.3 %) es mayor que la de sus homólogos en la zona de Bulnes (76.1 %), producto del fomento al desarrollo ganadero por parte de la comuna en el primer caso. Según los autores, existen limitantes importantes que afectan el grado de eficiencia de las fincas estudiadas, entre estas destaca el nivel de educación del productor, el área de riego de la explotación, la superficie de uso ganadero, y el nivel de gestión de la unidad de producción ganadera, entre otras. Estas limitantes también se mencionan en un estudio sobre eficiencia técnica en la producción de café en Nicaragua, mediante un modelo de fronteras estocásticas, como se discutirá más adelante (véase [Urbina 2017](#), pp. 17-18).

Bajo una perspectiva similar, [Angón \(2013\)](#) realizó un estudio sobre eficiencia para conocer los cuellos de botella en el mejoramiento de la competitividad y la viabilidad de los sistemas pastoriles para ganado lechero en La Pampa (Argentina). El estudio sugiere un nivel de eficiencia técnica media de 34.9 por ciento, valor inferior al reportado por [Amilcar \(2003\)](#) en la cuenca de Buenos Aires (78 %), lo que obedece fundamentalmente a las condiciones desfavorables de los suelos y al sistema de alimentación utilizado. Similar a lo encontrado por [Guhl \(2004\)](#) en el eje cafetalero de Colombia, en este estudio, la eficiencia técnica de la producción lechera disminuyó en la media que las explotaciones diversificaron más su producción.

Por su parte, [Torero et al. \(2009\)](#) estiman un modelo de frontera de ingresos utilizando mapas y bases de datos geo-referenciados, información satelital, y datos provenientes de la Encuesta de Condiciones de Vida del Ecuador 2005-2006, para dividir las zonas rurales del país y estimar la eficiencia y el potencial de los productores agrícolas<sup>1</sup>. El principal aporte del estudio es una tipología que no se limita a identificar las áreas más necesitadas del país, sino que también indica las zonas donde la asignación de recursos productivos no es óptima y dónde la capacidad de generación de ingresos es más elevada (véase [Torero et al. 2009](#), p. 123).

Con el objetivo de estimar la función de producción, las economías de escala y la eficiencia técnica de los caficultores del eje cafetalero de Colombia, [Perdomo & Hueth \(2010\)](#), realizan un estudio de frontera estocástica (FE). Con ello se contrasta, al mismo tiempo, la hipótesis relacionada con la fragmentación de tierras cafeteras y diversificación de cultivos, que según

---

<sup>1</sup>Para efectos de claridad, los resultados se agregan a la información proveniente de los mapas de pobreza existentes en el país.

Guhl (2004), han tenido efectos negativos en la eficiencia, la productividad y la competitividad del sector cafetalero de Colombia. Así, la medida de eficiencia técnica obtenida, indica que el rendimiento para el sector real es de 70 por ciento, para pequeños productores es de 70 por ciento, para medianos productores es de 66 por ciento, y para grandes productores de 99 por ciento. Los autores concluyen que los pequeños y medianos productores presentan rendimientos crecientes de escala, mientras que los grandes productores operan con rendimientos decrecientes, lo que difiere a lo encontrado por Wang (2001) para el caso de establecimientos lecheros en el norte de Estados Unidos.

Para el caso de Nicaragua, Urbina (2017) estima el nivel de eficiencia técnica en la producción de café, utilizando un modelo de fronteras estocásticas, con datos de la encuesta de costos de producción realizada por el Banco Central de Nicaragua (BCN), en el ciclo agrícola 2014-2015. La variable dependiente utilizada fue la producción, mientras que las variables independientes incluyen la altura, el área cultivada, la mano de obra utilizada, la tecnología disponible, la tenencia de la propiedad, entre otras. Los hallazgos muestran que el sector cafetalero alcanza el 60 por ciento de su eficiencia técnica, esto implica que los caficultores tienen una ventana de oportunidad para mejorar sus prácticas productivas. Según el autor, con sólo mejorar el manejo del uso de los recursos con los que ya cuentan los productores, éstos serían capaces de incrementar su producción hasta el punto delimitado por la frontera estimada (véase Urbina 2017, p. 17).

En la investigación realizada por Castillo et al. (2020), analizan la eficiencia técnica del cultivo de cacao en Nicaragua, específicamente, en la región norte centro del país. Los autores recopilieron información de 140 productores pertenecientes a las cooperativas Ríos de Agua Viva y La Campesina. Utilizando una forma funcional Cobb-Douglas, estimaron un modelo de frontera estocástica de producción que tiene como variable dependiente el logaritmo del rendimiento del cacao (kg/ha); y como variables independientes el costo de mano de obra, la inversión en fertilizantes, factores socio-económicos, entre otros. Los hallazgos de Castillo et al. (2020) sugieren que la eficiencia técnica del sector cacaotero en la región norte centro de Nicaragua es de 90.8 por ciento.

Cabe destacar que en la revisión de literatura relacionada, existe poca discusión referente al uso de variables climáticas como precipitaciones y temperatura en el uso de modelos de fronteras estocásticas, tampoco fue

posible encontrar estudios empíricos sobre el cultivo de cacao realizados con este enfoque metodológico. Así, el presente estudio hace un aporte, pues incluye variables ambientales que rompen con el esquema tradicional de análisis enfocado únicamente en aspectos productivos y/o sociales. En particular, se analiza el primer eslabón de la cadena productiva del cacao, utilizando información de la encuesta especializada de cooperativas de cacao de Nicaragua. Los resultados del modelo se presentan en los límites geográficos micro localizados y muestran la variabilidad entre los municipios.

### 3. Aspectos Metodológicos

#### 3.1. Funciones de ingreso desde la perspectiva microeconómica y de economía agrícola

La definición de función de ingreso en teoría microeconómica indica el máximo nivel de ingreso que una empresa puede obtener (cf. [Nicholson 2005](#)), o en nuestro caso, el máximo nivel de ingreso que los productores de cacao podrían alcanzar con cada combinación de factores (área cultivada, mano de obra utilizada, precipitaciones, temperaturas, prácticas de conservación, asistencia técnica, crédito, entre otros), todo ello aplicado al estado de una tecnología dada.

El análisis del ingreso de los productores, se realiza bajo la perspectiva de producción y precios a nivel de finca (productor), en el primer eslabón de la cadena productiva. La relación entre los factores de ingreso y los insumos se representa mediante una función de ingreso, indicando el máximo nivel de ingreso ( $y$ ) que se obtiene en una explotación agrícola dedicada al cultivo de cacao, dada una combinación específica de factores ( $x_i$  y  $x_j$ ).

De esta manera, las funciones permiten relacionar las variables dentro del plano cartesiano y estas pueden ser lineales, cuadráticas, cúbicas, logarítmicas, translogarítmicas, entre otras. La función de ingreso que se presenta a continuación, considera como factores determinantes del ingreso por venta ( $y$ ), únicamente el trabajo ( $L$ ), y el área sembrada en manzanas ( $A$ ):

$$y = F(L, A) \tag{1}$$

La función (1) relaciona el ingreso percibido con los insumos o factores que, en este ejemplo, lo constituyen el trabajo ( $L$ ) y el área sembrada ( $A$ ). En esta función se considera una tecnología dada, no obstante, se sabe que a medida

que la tecnología es aplicada por los productores, la función de producción varía. Así, la eficiencia técnica sería la capacidad de producir la máxima cantidad de ingreso, según insumos y nivel tecnológico disponible. En este sentido, en la investigación se identifica la forma funcional de la función de ingreso, identificando el modelo que describe la relación causa efecto entre los principales insumos empleados (véase Tabla 1).

TABLA 1: Formas Funcionales de Funciones de Ingresos

Nombre de la función de ingreso	Formas funcionales
Lineal	$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_j x_j$
Proporciones fijas-Leontief	$y = \min(\beta_1 x_1, \beta_2 x_2)$
Cobb-Douglas	$\ln y = \beta_1 * \ln x_1 + \beta_2 * \ln x_2 + \beta_j * \ln x_j$
Elasticidad de sustitución constante	$y = [\beta_1 * x_1^\rho + \beta_2 * x_2^\rho]^{1/\rho}$
Cuadrática	$y = \beta_1 x_1 x_2 + \beta_2 x_1^2 + \beta_3 x_2^2$
<i>Flexibles</i>	
Traslogarítmica	$\ln y = \beta_0 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \ln x_i \ln x_j$
Elasticidad de sustitución: Const. Multifactores	$y = \sum \beta_i [x_i^\rho]^{1/\rho}$

Nota: Formas funcionales con las que es posible estimar las funciones de ingreso, utilizadas de base para el caso de los productores de cacao considerados en el presente estudio.

Fuente: [Nicholson \(2005\)](#).

### 3.1.1. Eficiencia técnica

En estudios realizados sobre eficiencia en diversas actividades económicas de países seleccionados, se distinguen principalmente la eficiencia técnica (ET, en adelante) y la eficiencia asignativa (EA, en adelante), como dos conceptos que determinan la relación insumo-producto, en los análisis realizados (véase [Perdomo & Mendieta 2007](#), [Dante & Quispe 2011](#))<sup>2</sup>. En la presente investigación, estos son conceptos relativos empleados en el proceso productivo para conocer el máximo nivel de producción o ingreso de los productores de cacao y la cantidad óptima de insumos utilizada según el nivel de precios de mercado.

El concepto relativo de eficiencia se obtiene al comparar alternativas de producción empleadas actualmente con otras posibles combinaciones de factores, considerando los recursos aprovechados a nivel de finca. Bajo

<sup>2</sup>En su estudio sobre eficiencia asignativa [Dante & Quispe \(2011\)](#), se refieren a la eficiencia distributiva (ED), para abordar la gestión y asignación de servicios públicos en los municipios rurales del departamento de Potosí, Bolivia.

esta perspectiva, un productor de cacao es eficiente cuando produce al menor costo, o cuando maximiza los factores de producción utilizados. Así, los resultados sobre eficiencia técnica y eficiencia asignativa, pueden relacionarse con características socio-económicas de los productores, y a partir de estos, buscar mejoras en indicadores productivos en un sector determinado.

La eficiencia técnica y la eficiencia asignativa son condiciones necesarias, aunque no suficientes para conocer si los productores de cacao de Nicaragua maximizan sus ingresos. No obstante, su estudio permite encontrar escenarios para dirigir la política del sector, en la búsqueda de mejoras en la productividad. Del mismo modo, este esfuerzo también podría permitir fomentar la competitividad, el acceso a mercados, y a infraestructura productiva que ayuden a enfrentar los problemas climáticos dentro del sector y garanticen mejores beneficios en el futuro.

De acuerdo con [Pinilla \(2001, p. 331\)](#), el análisis de la eficiencia y la productividad tuvo su origen en los años cincuenta con los trabajos pioneros de [Koopmans \(1951\)](#), [Debreu \(1951\)](#), [Shephard \(1953\)](#), y [Farrell \(1957\)](#). Según estos trabajos y los desarrollos posteriores, el análisis de frontera, estudia la eficiencia de una unidad con respecto al mejor comportamiento de las unidades de la muestra que formarán parte de la frontera, donde las ineficiencias se encuentran por debajo de la frontera de producción o por encima de la frontera de coste (cf. [Afonso & Fernandes 2008](#)). Este enfoque metodológico puede ser de tipo paramétrico y no paramétrico. El primero tiene implicaciones econométricas denominadas fronteras estocásticas de producción (aplicada en el presente estudio), mientras la segunda utiliza programación lineal y optimización matemática, y se conoce como análisis envolvente de datos. En ambos casos, la eficiencia de los productores es el resultado de una medida relativa, porque la distancia respecto a la frontera, representa el límite práctico máximo de eficiencia.

Antes de la utilización de fronteras estocásticas, el análisis se realizaba con fronteras determinísticas. Este enfoque considera que todas las divergencias entre el máximo producto factible y el producto observado se explican por la ineficiencia técnica. Por ello, se trata de un modelo que especifica una frontera común a todos los productores y no discrimina los efectos externos a los productores que pueden influenciar su desempeño. El método estocástico, por otro lado, incorpora al método de la frontera determinística un componente para absorber aquellos *shocks* exógenos que son particulares



a cada productor. De este modo, es posible descomponer las desviaciones de la frontera en el impacto de la ineficiencia técnica, por un lado, y de los efectos externos por el otro (Schmidt & Campión 2006, p.97).

Si bien, existe bastante investigación empírica que utiliza el enfoque paramétrico y no paramétrico, el modelo de fronteras estocásticas de producción destaca entre los más empleados para evaluar la eficiencia técnica bajo el enfoque paramétrico, particularmente, posterior a los trabajos desarrollados por Aigner et al. (1977) y Meesen & van Den Broeck (1977). Estos autores hicieron un esfuerzo metodológico importante para ajustar las formas funcionales de producción a través de técnicas econométricas utilizando el método de Máxima Verosimilitud. Así, la eficiencia técnica se mide como la distancia entre una observación y el valor óptimo que predice el modelo teórico.

Bajo la perspectiva de Aigner et al. (1977) y Meesen & van Den Broeck (1977), la frontera estocástica de ingresos consiste en ajustar las formas funcionales de producción descritas en la Tabla 1. Con ello, es posible estimar una función que permita encontrar el máximo nivel de ingreso ( $y^*$ ) para un insumo determinado, por las explotaciones agrícolas dedicadas a la producción de cacao, dada una combinación de insumos. Este planteamiento teórico se puede representar de la siguiente manera:

$$y = f(A, L, P, T, \beta)e^{\eta_i}, \text{ donde, } \eta_i = v_i - u_i \quad (2)$$

El término aleatorio del modelo (i.e., residuos  $\eta_i$ ) en la ecuación 2, tiene dos componentes y su diferencia es asimétrica,  $v_i$  es idéntica e independientemente distribuida. Se distribuye normalmente con media cero, varianza constante y  $v_i \sim N(0, \sigma_v^2)$ . Mientras  $u_i \geq 0 \sim N(0, \sigma_u^2)$  es independiente de  $v_i$ , truncado en cero (estrictamente mayor o igual a cero), y almacena la ineficiencia técnica de las observaciones correspondientes a la producción.

Según Schmidt & Campión (2006), la aplicación del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) a la frontera estocástica (ecuación 2) genera estimadores consistentes no sesgados de los parámetros tecnológicos  $\beta_n$  de la función de producción, pero no de la constante  $\beta_0$  que está negativamente sesgada. Por otra parte, la estimación con MCO no genera estimadores de los niveles de eficiencia de cada productor en particular y por ende, este método no es adecuado para estimar (2).

Siguiendo a Aigner et al. (1977) y Meesen & van Den Broeck (1977), los parámetros en la ecuación (2) deben obtenerse por máxima verosimilitud, de esta manera, los coeficientes son eficientes asintóticamente, insesgados y consistentes. Por otra parte, si estos se obtienen mediante mínimos cuadrados ordinarios (frontera determinística) son insesgados y consistentes, pero no eficientes.

La eficiencia técnica (ET), se obtiene como la relación de ingreso conseguido (ingreso por venta a nivel de finca en las explotaciones agrícolas dedicadas a la producción de cacao), y el máximo ingreso que pueden alcanzar  $\left(ET = \frac{y}{y^*}\right)$ . El cociente representa la proporción de ingreso de cacao con respecto al que obtendrían si los productores utilizaran los insumos disponibles con eficiencia técnica, lo que podría representarse de la siguiente manera:

$$ET_i = \frac{y}{y^*} = \frac{f(A, L, F, \beta)e^{v_i - u_i}}{f(A, L, F, \beta)e^{v_i}} \quad (3)$$

La ET toma valores entre cero y uno ( $0 \leq ET_i \leq 1$ ). Si la medida de eficiencia técnica tiende a la unidad ( $ET_i \rightarrow 1$ ) para un productor de cacao determinado, significa que éste es eficiente técnicamente. Por el contrario, si la medida de ET es cercana a cero ( $ET_i \rightarrow 0$ ) se considera ineficiente. De esta manera, se puede establecer el productor, o grupo de productores que son más eficientes en el proceso productivo del rubro.

Se debe tener en cuenta que la medición de la  $ET_i$  es sensible a la forma funcional de ingreso específica (expresadas en la Tabla 1). Así, para no sesgar el valor de  $ET_i$ , se debe tener cuidado, pues resulta necesario una adecuada forma funcional de ingreso. Es decir, una mala especificación puede arrojar resultados espurios (con la omisión de errores tipo I o II en las decisiones), y la sobre-valoración o subestimación de la medida de eficiencia técnica.

### 3.1.2. Enfoque metodológico para el análisis geoespacial de los datos

Nicaragua tiene límites geográficos en sus niveles administrativos de departamentos, municipios, barrio/comunidad y comarca. También existen límites geográficos de reservas naturales, áreas protegidas, cuencas, sub-cuencas, entre otras. En este estudio, se usaron los límites de sectores censales agropecuarios, indicando que dentro de un municipio

existen diferentes sectores donde se aglomeran las explotaciones agrícolas dedicadas a la producción de cacao. Así, se seleccionaron las zonas según el IV-CENAGRO 2011 donde se cultiva cacao, y la Encuesta Especializada de Cooperativas de Cacao de 2018.

Para la espacialización se utilizó la capa del sistema de información geográfica de los sectores censales agropecuarios del país, y se procesaron los datos del IV-CENAGRO 2011. Con este enfoque fue posible generar el código único que une las bases de datos de 15.7 mil manzanas (mz) sembradas y 10.1 mil explotaciones distribuidas en 1,047 sectores censales donde se cultiva cacao. Este procedimiento muestra las zonas donde existen plantaciones de cacao y la variabilidad dentro de los municipios.

Para generar la metodología de emparejamiento de las variables precipitación y temperatura, fue necesario recopilar la información por sector censal y para cada explotación agropecuaria dentro de un sector. Así, fue posible asociar las precipitaciones y temperaturas que corresponden. La Tabla 2, muestra los requerimientos climáticos para el cultivo de cacao, los que oscilan entre 1,200-2,000 mm/año para el caso de precipitaciones, y 22-27°C en temperatura.

En cuanto a información primaria se refiere, las cooperativas: Ríos de Agua Viva, Nueva Waslala, Cacaonica, La Campesina, Flor de Pancasán, Nueva Esperanza y Flor de Dalia, realizaron un levantamiento para conocer los principales indicadores de los productores en sus zonas. No obstante, la información sobre cacao baba en Nicaragua sigue siendo escasa, por tanto, tener datos sobre rendimientos, precios por quintal al productor, empleos, ingresos, manejo agronómico del cultivo para incrementar la productividad, aspectos fitosanitarios, medidas de adaptación al cambio climático, certificaciones y comercialización (a nivel de productor), permitiría conocer el estado actual del sector.

TABLA 2: Requerimientos Climáticos del Cultivo de Cacao

Cultivo	Requerimientos climáticos		
	Temperatura (°C)	Precipitaciones (mm/año)	Altura (msnm)
Óptimo	22-27	1200-2000	0-700

Nota:—Condiciones óptimas de temperatura, precipitaciones y altura del cultivo de cacao.

Fuente: Datos agroecológicos 2010.

### 3.2. Especificaciones empíricas

A diferencia del estudio de Castillo et al. (2020), en el que determina la eficiencia técnica de cacao desde la perspectiva de producción; el presente estudio analiza la eficiencia técnica desde la perspectiva del ingreso, considerando como variables independientes factores productivos, sociales y climáticos y, como variable *proxy* de la (in)eficiencia, el área total de la finca por el reconocimiento del sistema policultivo de los productores de cacao.

Dado que los modelos se estimaron a partir de una forma funcional de tipo Cobb-Douglas, las variables se expresan en logaritmo con el objetivo de linealizar la forma funcional. Los resultados de los coeficientes representan las elasticidades del ingreso respecto a variaciones de uno por ciento de los factores, lo que aplica únicamente para el caso de las variables cuantitativas. Cuando se trata de variables *dummies*, el parámetro mide el impacto de la variable con respecto al ingreso y se fija en la opción de 1.

El modelo 1 del IV-CENAGRO incluye las variables climáticas referentes a precipitaciones y temperaturas.

$$\begin{aligned} \ln Y1US &= \beta_0 \pm \beta_1 \ln A\text{SembradaCacao} \pm \beta_2 \ln \text{Empleo} \pm \beta_3 D\text{Empleo} \\ &\pm \beta_4 AT \pm \beta_5 C \pm \beta_6 \ln \text{Edad} \pm \beta_7 \ln N\text{Personas} \pm \beta_8 \text{Genero} \\ &\pm \beta_9 \ln \text{Temperatura} \pm \beta_{10} \ln \text{Precipitaciones} \pm \beta_{11} CVivas \pm \varepsilon \end{aligned}$$

El modelo 2 del IV-CENAGRO, muestra el resultado de la eficiencia excluyendo las variables climáticas mencionadas anteriormente, por tanto, resalta la importancia del análisis geoespacial de los datos en la obtención del indicador de eficiencia.

$$\begin{aligned} \ln Y1US &= \beta_0 \pm \beta_1 \ln A\text{SembradaCacao} \pm \beta_2 \ln \text{Empleo} \pm \beta_3 D\text{Empleo} \\ &\pm \beta_4 AT \pm \beta_5 C \pm \beta_6 \ln \text{Edad} \pm \beta_7 \ln N\text{Personas} \pm \beta_8 \text{Genero} \\ &\pm \beta_9 CVivas \pm \varepsilon \end{aligned}$$

El modelo 3 del IV-CENAGRO, presenta el impacto que tienen sobre las observaciones, el hecho de incluir variables con muchos valores perdidos dentro de la base de datos e.g., años de estudio del productor. El criterio de selección del modelo, es el que permite conservar la mayor cantidad de observaciones de predicción del indicador de eficiencia e ingreso potencial y que muestra el impacto que tiene en las eficiencias con y sin variables climáticas.

$$\begin{aligned} \ln Y1US = & \beta_0 \pm \beta_1 \ln A \text{SembradaCacao} \pm \beta_2 \ln Empleo \pm \beta_3 D \text{Empleo} \\ & \pm \beta_4 AT \pm \beta_5 C \pm \beta_6 \ln Edad \pm \beta_7 \text{Genero} \pm \beta_8 \ln Temperatura \\ & \pm \beta_9 \ln Precipitaciones \pm \beta_{10} CVivas \pm \beta_{11} \ln NHijosP \\ & \pm \beta_{12} \ln Educacion \pm \varepsilon \end{aligned}$$

Adicionalmente, se presentan los resultados de eficiencia considerando la encuesta realizada por las cooperativas de productores de cacao, dado que es una muestra representativa de su membresía y cuenta con variables económicas relevantes a considerar en las estimaciones de eficiencia. Entre las variables destacan los costos de producción, el número de plantas sembradas por área, y los años de experiencia de los productores en el rubro.

Modelo 1 – Encuesta: Variables similares al IV-CENAGRO 2011

$$\begin{aligned} \ln Y1US = & \beta_0 \pm \beta_1 \ln A \text{SembradaCacao} \pm \beta_2 \ln Empleo \pm \beta_3 D \text{Empleo} \\ & \pm \beta_4 \ln Edad \pm \beta_5 \ln N \text{Personas} \pm \beta_6 \text{Genero} \\ & \pm \beta_7 \ln Temperatura \pm \beta_8 \ln Precipitaciones \pm \beta_9 CVivas \pm \varepsilon \end{aligned}$$

Modelo 2 – Encuesta: Variables productivas específicas del cultivo de cacao

$$\begin{aligned} \ln Y1US = & \beta_0 \pm \beta_1 \ln A \text{CosechadaCacao} \pm \beta_2 \ln Empleo \pm \beta_3 D \text{Desempleo} \\ & \pm \beta_4 \ln CostoP \pm \beta_5 \ln N \text{Plantas} \pm \beta_6 \ln Experiencia \\ & \pm \beta_7 \ln N \text{Personas} \pm \beta_8 \text{Genero} \pm \beta_9 \ln Temperatura \\ & \pm \beta_{10} \ln Precipitaciones \pm \beta_{11} CVivas \pm \varepsilon \end{aligned}$$

Las variables seleccionadas para estimar el modelo de frontera de ingresos se presentan a continuación:

### Modelo del IV-CENAGRO:

- Ingreso de cacao (dependiente): Ingreso de cacao en USD dólares, obtenido de multiplicar la producción de cacao en baba por el precio del cacao.
- Área sembrada de cacao: Superficie sembrada de cacao en manzanas.
- Empleo: Trabajadores contratados, temporales y permanentes, de la explotación agropecuaria.
- Asistencia técnica: Esta variable toma el valor de 1 si la explotación agropecuaria recibió asistencia técnica y el valor de 0 en caso contrario.
- Crédito: Esta variable toma el valor de 1, si la explotación agropecuaria recibió crédito y el valor de 0 en caso contrario.
- Edad del productor: Variable expresada en años.
- Número de personas del hogar: Cantidad de personas que habitan en el hogar del productor.
- Género: Esta variable toma el valor de 1, si el productor es hombre y el valor de 0 en caso contrario.
- Temperatura: Variable climática expresada en grados centígrados.
- Precipitaciones: Variable climática expresada en milímetros por año.
- Cercas vivas: Variable *dummy* que toma el valor de 1, si el productor implementa cercas vivas y el valor de 0 en caso contrario.
- Número de hijos en edad de trabajar: Cantidad de hijos del productor mayores de 14 años.
- Años de estudio del productor: Cantidad de años de estudio del productor.
- Área total de la finca: Área total de las explotaciones agropecuarias, expresado en manzanas.

**Modelo de la encuesta:**

- Ingreso de cacao (dependiente): Ingreso de cacao en USD dólares, obtenido de multiplicar la producción de cacao en baba por el precio.
- Área sembrada de cacao: Superficie sembrada de cacao en manzanas.
- Área en producción de cacao: Superficie de cacao en producción, expresado en manzanas.
- Empleo: Trabajadores contratados, temporales y permanentes, de la explotación agropecuaria.
- Costos de producción de cacao: Costo de producción por manzana cultivada, expresado en dólares.
- Número de plantas de cacao: Cantidad de plantas de cacao establecidas en la explotación agropecuaria.
- Edad del productor: Variable expresada en años.
- Años de experiencia: Años de experiencia de los productores en el cultivo de cacao.
- Número de personas del hogar: Cantidad de personas que habitan en el hogar del productor.
- Género: Esta variable toma el valor de 1, si el productor es hombre y valor de 0 en caso contrario.
- Temperatura: Variable climática expresada en grados centígrados.
- Precipitaciones: Variable climática expresada en milímetros por año.
- Cercas vivas: Variable *dummy* que toma el valor de 1, si el productor implementa cercas vivas y valor de 0 en caso contrario.
- Área total de la finca: Área total de las explotaciones agropecuarias, expresado en manzanas.

## 4. Resultados

Los resultados de las estimaciones se presentan en la Tabla 4. Aquí, el logaritmo del empleo en los modelos 1, 2 y 3 de la base de datos del IV-CENAGRO son significativos pero con signos negativos, sugiriendo que, incrementos en el empleo disminuyen el ingreso. El signo del empleo puede explicarse por dos factores. En primer lugar, los productores de cacao implementan sistemas de policultivos, donde, además de cacao, se dedican a la ganadería (262.2 miles de mz de pasto), maíz (38.6 miles de mz), frijol (28.8 miles de mz) y café (8.9 miles de mz), utilizando la misma mano de obra para atender todas sus actividades agropecuarias. En segundo lugar, la base de datos del IV-CENAGRO no captura el efecto del empleo por tipo de cultivo, sino que reporta datos de empleo total, diferenciando únicamente entre empleo temporal o permanente.

TABLA 3: Estadísticas Descriptivas

Variables	Frecuencia	Promedio	Mínimo	Máximo
<b>Modelo CENAGRO</b>				
Ingreso de cacao (dependiente)	10,061	309.64	0.23	11,983.40
Área sembrada de cacao	10,061	1.57	0.01	80.00
Empleo	10,061	4.45	0	7,535
Asistencia técnica	10,061	0.21	0	1
Crédito	10,061	0.16	0	1
Edad del productor	9,587	48.61	16	98
Número de personas del hogar	9,620	6.39	1	35
Género	10,021	0.84	0	1
Temperatura	9,493	24.82	21.77	28.84
Precipitaciones	9,493	2,328.90	768.31	4,350.39
Cercas vivas	10,061	0.30	0	1
Número de hijos en edad de trabajar	6,432	2.56	1	13
Años de estudio del productor	8,467	2.56	0	18
Área total de la finca	10,061	60.34	0.12	14,557
<b>Modelo Encuesta</b>				
Ingreso de cacao (dependiente)	1,887	1,650.95	6.65	24,527.44
Área sembrada de cacao	1,922	3.16	0.25	80.00
Área en producción de cacao	1,892	2.71	0.25	60
Empleo	1,922	2.93	0	80
Costos de producción de cacao	1,904	227.90	1.90	11,063.01
Número de plantas de cacao	1,906	1,107.81	90	17,000
Edad del productor	1,899	46.17	15	94
Años de experiencia en el cultivo de cacao	1,918	10.67	0	61
Número de personas del hogar	1,758	4.14	1	14
Género	1,922	0.85	0	1
Temperatura	1,887	24.45	22.34	27.01
Precipitaciones	1,887	2,299.16	1,468.87	3,140.76
Cercas vivas	1,922	0.33	0	1
Área total de la finca	1,922	23.64	0.25	600

Nota:-Estadísticas de las variables que forman parte de los modelos de frontera de ingreso.  
Fuente: Elaboración propia, datos del IV-CENAGRO y encuesta de cacao.



TABLA 4: Resultados de los Modelos Estimados

Variables	Modelo 1 (CENAGRO)	Modelo 2 (CENAGRO)	Modelo 3 (CENAGRO)	Modelo 1 (Encuesta)	Modelo 2 (Encuesta)
Ln (Área sembrada de cacao)	2.481*** (0.018)	2.569*** (0.018)	2.352*** (0.032)	1.177*** (0.033)	
ln(Área en producción de cacao)					1.154*** (0.037)
ln(Empleo)	-0.141*** (0.027)	-0.102*** (0.027)	-0.087** (0.044)	0.078** (0.035)	0.064** (0.032)
Dummy empleo	-0.299*** (0.049)	-0.330*** (0.051)	-0.189** (0.086)	0.099* (0.059)	0.083 (0.054)
Asistencia técnica (recibió=1)	0.093** (0.039)	0.048 (0.041)	0.183*** (0.062)		
Crédito (recibió=1)	0.011 (0.043)	0.078* (0.045)	-0.094 (0.067)		
ln(Costos de producción de cacao)					0.095*** (0.017)
ln(Número de plantas de cacao)					0.094*** (0.037)
ln(Años de experiencia en cacao)					0.133*** (0.028)
ln(Edad del productor)	0.206*** (0.049)	0.172*** (0.051)	0.205 (0.126)	0.061 (0.065)	
ln(Número de personas del hogar)	0.055** (0.028)	0.091*** (0.029)		-0.070** (0.036)	-0.074** (0.034)
Género (hombre=1)	-0.046 (0.043)	-0.083* (0.044)	-0.100 (0.080)	0.123** (0.058)	0.155*** (0.054)
ln(Temperatura)	-17.816*** (0.477)		-18.413*** (0.802)	-1.474** (0.644)	-1.575*** (0.610)
ln(Precipitaciones)	1.161*** (0.088)		0.946*** (0.158)	0.054 (0.201)	0.097 (0.181)
Cercas vivas (implementa=1)	0.133*** (0.034)	0.124*** (0.035)	0.129** (0.059)	-0.022 (0.045)	-0.042 (0.042)
ln(Hijos en edad de trabajar)			0.026 (0.047)		
ln(Años de estudio del productor)			-0.028 (0.040)		
<b>Componente de ineficiencia</b>					
Área total de la finca	0.001*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.000 (0.000)	0.002 (0.001)	0.004*** (0.001)
<b>Componente de error</b>					
Precipitaciones	-0.001*** (0.000)		-0.001*** (0.000)	-0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Constante	51.604*** (1.358)	3.212*** (0.213)	55.565*** (2.302)	10.696*** (2.343)	9.583*** (2.221)
Eficiencia	45.04 %	52.10 %	38.82 %	45.14 %	50.40 %
Observaciones	9,032	9,587	2,729	1,675	1,665

Nota:—Errores estándar en paréntesis. \*\*\*  $p < 0,01$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*  $p < 0,10$ .

Fuente: Elaboración propia.

El recurso correspondiente al empleo temporal y permanente contratado en el IV-CENAGRO no distingue la fuerza laboral entre cultivos. Sin embargo, este inconveniente se supera con la información proveniente de la encuesta

especializada realizada por las cooperativas de productores de cacao, cuyos resultados en los modelos estimados tienen signo positivo y significativo, pero con elasticidades inelásticas, lo que indica que cambios en el empleo no implica cambios significativos en los ingresos.

Los resultados muestran que la asistencia técnica en los modelos 1 y 3 es relevante en la generación de ingresos del productor. Sin embargo, el crédito no resulta significativo, lo que sugiere que se debe mejorar la captura de datos para asegurar que éste se utiliza en el cultivo de cacao, y no en otras actividades agrícolas, por ejemplo, la ganadería. Al dirigir la atención a variables como edad del productor y número de personas por hogar en los modelos 1 y 2, se puede notar que son variables significativas y relevantes. No obstante, tienen elasticidad inelástica con respecto al ingreso, lo que indica que cambios en la edad del productor y en el número de personas no generan cambios significativos en los ingresos de los productores de cacao.

Por su parte, las variables climáticas tienen un impacto directo y significativo en los ingresos de los productores, dado que cambios en las precipitaciones y en la temperatura, provocan cambios sustanciales en las utilidades percibidas. Así, ante cambios del 1 por ciento en la temperatura y en las precipitaciones, el ingreso de los productores de cacao disminuye 17.8 por ciento y aumenta en 1.2 por ciento, respectivamente. Estos resultados sugieren que para mitigar el impacto de escenarios adversos del clima, se debe de considerar los parámetros agroecológicos óptimos de 22-27°C y 1200-2000 mm/año.

Con relación a los resultados de los modelos estimados a partir de la encuesta especializada de cooperativas de cacao, los impactos de las temperaturas y de las precipitaciones son menores y dejan de ser significativos en el modelo. Esta situación obedece a que los datos utilizados corresponden con el requerimiento adecuado para el cultivo de cacao, pues la encuesta fue realizada en los departamentos de Matagalpa y la Región del Caribe Norte (RACCN), zonas donde se cumplen los requerimientos climáticos del rubro.

Con base en la información de la encuesta, la elasticidad de los costos de producción resultó inelástica en los ingresos. Así, ante incrementos del 10 por ciento en los costos, los ingresos aumentan en 0.95 por ciento. Este resultado obedece a que los costos promedios por manzanas (mz) en las diferentes actividades son bajos: fertilización (69.8 USD/mz), manejo fitosanitario (69.6 USD/mz), manejo productivo (58.3 USD/mz), mejoramiento de

plantación (22.9 USD/mz), manejo pos-cosecha y beneficio (26.6 USD/mz).

El número de plantas dentro del área cosechada, tiene una relación positiva en los ingresos y una elasticidad de 0.09. Los años de experiencia del productor en la producción de cacao tiene una elasticidad de 0.13. Por otra parte, mientras mayor es el número de personas por hogar en una explotación agropecuaria, el ingreso obtenido por el productor es menor. Finalmente, cuando el productor de cacao es hombre los ingresos obtenidos son mayores.

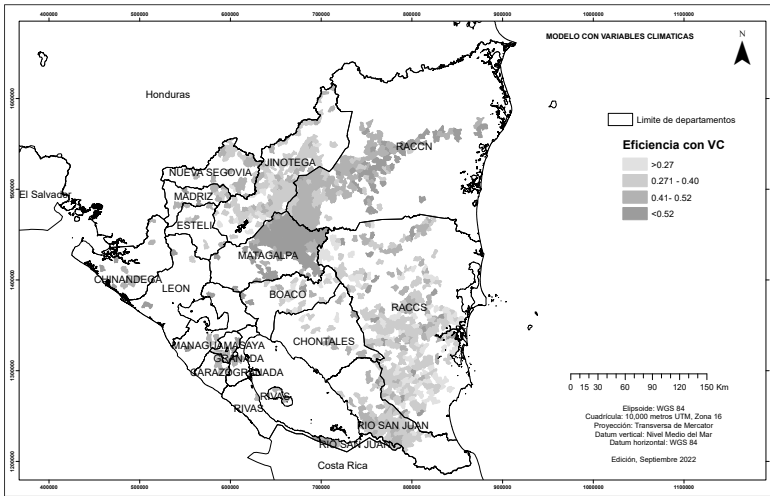
La forma en que fue recopilada la información de las variables consideradas en los modelos del IV-CENAGRO y de la encuesta especializada de cacao, es una de las posibles razones por las cuales se produzcan cambios en el signo y la magnitud de algunos coeficientes. En el caso de las variables ambientales, si bien éstas no cambiaron de signo, si lo hicieron en la magnitud del estimador; pudiendo ser explicado por el hecho que se consideraron precipitaciones y temperaturas de años distintos para que tuvieran correspondencia con el año en el que se había levantado la información primaria, siendo el año 2011 para el IV-CENAGRO y el año 2018 para la encuesta de cacao.

Las Figuras 1 y 2 muestran los resultados de los modelos 1 y 2 del IV-CENAGRO 2011 y las variaciones en las eficiencias que existen en los municipios, considerando variables sociales, productivas, y climáticas. Por medio de la espacialización de los resultados del modelo 1 estimados y analizados por clúster o sectores censales, la Figura 1, presenta una eficiencia promedio de 41.8 por ciento, siendo los departamentos de Matagalpa, Managua y León los que tienen eficiencias mayores al 50 por ciento dentro de un sector. Los sectores con menor eficiencia se encuentran en los departamentos de Chinandega, Chontales y la Región del Caribe Sur (RACCS). Los municipios por sector censal que presentan condiciones climáticas óptimas tienen las siguientes eficiencias: 59.8 por ciento Rancho Grande, 59.4 por ciento Matiguás, 56.8 por ciento Tuma-La Dalia y 56.7 por ciento Río Blanco.

El análisis territorial del modelo 2, sin variables climáticas (i.e., precipitaciones y temperatura), genera eficiencias mayores en las mismas zonas, cuando se incluyen en el análisis de frontera. Así, la eficiencia promedio es de 48.5 por ciento, mientras que la eficiencia en Matagalpa es de 63.1 por ciento, en Granada es de 53.2 por ciento, y en Managua es de

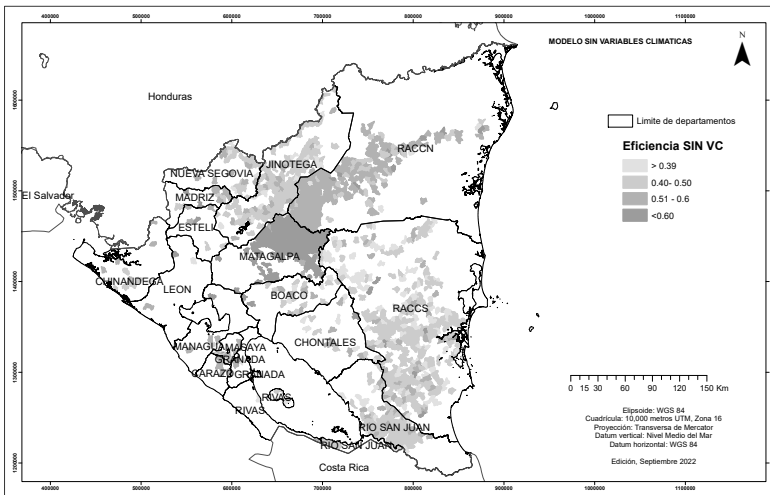
52.6 por ciento (véase Figura 2).

FIGURA 1: Resultado del Modelo con Variables Climáticas



Nota:–Se consideran las variables climáticas temperaturas y precipitaciones.  
Fuente: Elaboración propia, datos del IV-CENAGRO y encuesta de cooperativas de cacao.

FIGURA 2: Resultado del Modelo sin Variables Climáticas



Nota:–No se consideran las variables climáticas temperaturas y precipitaciones.  
Fuente: Elaboración propia, datos del IV-CENAGRO y encuesta de cooperativas de cacao.

Por tamaño del productor, aquellos que poseen entre 1 y 4 manzanas (mz) son los que reportan las mayores eficiencias, seguido de los que tienen hasta 1 mz. No obstante, los grandes productores son quienes reportan las menores eficiencias. Considerando las variables climáticas, los medianos productores entre 1 y 2 mz tienen una eficiencia técnica promedio de 52.3 por ciento. Sin considerar las variables climáticas, su eficiencia es de 56.9 por ciento (véase Tabla 5).

TABLA 5: Eficiencia Técnica por Tamaño del Productor

Tamaño del productor	Con variables climáticas	Sin variables climáticas
Menor o igual a 1 mz.	42.43 %	50.64 %
Mayor a 1 mz. y menor o igual a 2 mz.	52.28 %	56.89 %
Mayor a 2 mz. y menor o igual a 4 mz.	50.30 %	55.43 %
Mayor a 4 mz.	39.47 %	46.10 %
Sector	45.04 %	52.10 %

Nota:—Comparativo por tamaño del productor de resultados de eficiencia técnica con y sin variables climáticas (i.e., temperatura y precipitaciones). mz: manzana.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al ingreso, el cacao aporta 3.1 millones de dólares a la economía nacional. De este monto, el 47 por ciento es generado por los grandes productores de más de 4 mz (USD 1.46 millones), el 31 por ciento es generado por los medianos productores de entre 2 a 4 mz (USD 0.96 millones), el 18 por ciento es generado por los productores de entre 1 a 2 mz (USD 0.55 millones), y solo el 4 por ciento es generado por los pequeños productores de hasta 1 mz (USD 0.13 millones), como se refleja en la Tabla 6.

TABLA 6: Ingreso por Tamaño del Productor

Tamaño de la finca	Ingreso real USD	Ingreso potencial USD	
		Con variables climáticas	Sin variables climáticas
Menor o igual a 1 mz	13,4482.54	185,678.01	126,607.22
Mayor a 1 mz y menor o igual a 2 mz	552,837.44	593,851.14	394,495.91
Mayor a 2 mz y menor o igual a 4 mz	966,994.17	1,357,081.21	918,401.89
Mayor a 4 mz	1,461,022.09	9,898,741.96	12,824,187.18
Sector	3,115,336.25	12,035,352.32	14,263,692.20

Nota:—Comparativo de ingreso real e ingreso potencial con y sin variables climáticas (temperatura y precipitaciones), por tamaño del productor.

Fuente: Elaboración propia.

Relacionado con lo anterior, los grandes productores de cacao son los que reportan ingresos medios más altos (USD 4,106.8), mientras que los pequeños productores tienen el menor ingreso promedio (USD 321.2). El ingreso potencial estimado a partir del modelo de fronteras estocásticas considerando

las variables ambientales es de 12.04 millones de dólares, mientras que dicho ingreso asciende a 14.26 millones sin considerar estas variables (Tabla 6).

## 5. Conclusiones

En Nicaragua el gobierno ha implementado políticas públicas orientadas a fomentar el desarrollo de cultivos de relevancia estratégica en zonas rurales con extrema pobreza, destacando el cacao como rubro de interés nacional. Sin embargo, existen retos importantes en materia de productividad, agregación de valor, y gestión de información, lo que afecta la competitividad del sector.

Mediante el presente estudio se estima la eficiencia técnica del cultivo de cacao baba en Nicaragua, a través de un modelo de frontera estocástica de ingreso. Se utilizan variables productivas, sociales, y ambientales, con información del IV-CENAGRO y de la Encuesta Especializada de Cooperativas de Cacao 2018. Los resultados sugieren que existe oportunidad de mejorar los niveles de eficiencia y aumentar los ingresos de los productores, con tan sólo mejorar la gestión de los recursos con los que éstos ya cuentan. No obstante, se deben considerar medidas que ayuden a mitigar el efecto de factores climáticos adversos que pueden afectar el cultivo.

El modelo de fronteras estocásticas muestra que la eficiencia técnica promedio es de 45.0 por ciento con información del IV-CENAGRO, y de 50.4 por ciento con datos de la encuesta de cooperativas de cacao. Con base en el modelo y de las variables referidas, el ingreso potencial es de 12.04 millones de dólares. Por otra parte, al considerar únicamente los datos productivos, el ingreso es de 14.26 millones de dólares. Ésto significa que en ausencia de medidas apropiadas de mitigación, las variaciones de temperatura y de precipitaciones en rangos no óptimos para el cacao, implicaría una reducción del ingreso de los productores de aproximadamente 2.23 millones de dólares.

Si bien este estudio aporta elementos a la literatura de eficiencia técnica del cultivo de cacao, existen otros aspectos relevantes que pueden ser abordados en otras investigaciones, entre los que figuran, análisis específicos de agregación de valor, procesos de transformación para mejorar los ingresos, viabilidad ambiental, sostenibilidad social y el cultivo de cacao en sistemas agroforestales, entre otros temas.

Al combinar las nociones de eficiencia técnica y frontera (potencial) con

variables de orden climático, se obtiene una tipología funcional que permite clasificar en distintos grupos a las micro-regiones donde se produce cacao en Nicaragua. Así, es posible identificar los territorios de alto rendimiento que son clave para comprender las experiencias exitosas en cuanto a medidas de mitigación ambiental se refiere, su replicabilidad, y las lecciones que pueden obtenerse de ellas (véase Torero et al. 2009). Por otra parte, las zonas identificadas como áreas de baja eficiencia requieren soluciones a limitantes que impiden que se acerquen a la frontera de utilidades (máximo potencial). Lo anterior, puede servir de referencia para tomadores de decisiones, de manera que se puedan gestar intervenciones orientadas a fomentar la competitividad y productividad del sector cacao, y que también contribuyan al mejoramiento de las condiciones de vida de los productores y sus familias, particularmente, de las más vulnerables.

## Referencias

- Afonso, A. & Fernandes, S. (2008), 'Assessing and explaining the relative efficiency of local government', *The Journal of Socio-Economics* **37**(5), 1946–1979.
- Aigner, D., Lovell, C. K. & Schmidt, P. (1977), 'Formulation and estimation of stochastic frontier production function models', *Journal of econometrics* **6**(1), 21–37.
- Amilcar, A. D. A. (2003), Análisis de eficiencia sobre explotaciones lecheras de la Argentina, PhD thesis, Universidad de Córdoba.
- Angón, Sánchez, E. (2013), 'Nivel de competitividad y eficiencia de la producción ganadera'.
- Castillo, M., Legarreta-González, M., Olivas-García, J. & García-Fernández, F. (2020), 'Análisis de la eficiencia técnica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Caso de la región norte centro de Nicaragua', *Custos e Agronegocios Online* **16**(3), 29–40.
- Contreras, F. V., Monje, J. C., Fuenmayor, J. V., Cartes, R. V. & Roig, J. M. G. (2015), 'Eficiencia técnica de los pequeños productores bovinos de la región centro sur de Chile', *Revista Científica* **25**(2), 99–106.
- Dante, A. N. & Quispe, G. M. (2011), 'Medición de la eficiencia asignativa mediante el análisis envolvente de datos en los municipios de Bolivia: caso municipios de Potosí', *Revista Perspectivas* (28), 137–169.

- Debreu, G. (1951), 'The coefficient of resource utilization', *Econometrica: Journal of the Econometric Society* pp. 273–292.
- Farrell, M. J. (1957), 'The measurement of productive efficiency', *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)* **120**(3), 253–281.
- Grau, C., Fossatti, M. & Paolino, C. (1995), Eficiencia técnica y comportamiento tecnológico en establecimientos lecheros CREA, Reporte, Fondo de promoción de tecnología agropecuaria.
- Guhl, A. (2004), 'Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana entre 1970 y 1997'.
- Koopmans, T. C. (1951), 'Efficient allocation of resources', *Econometrica: Journal of the Econometric Society* pp. 455–465.
- Kumbhakar, S. C., Wang, H. & Horncastle, A. P. (2015), *A practitioner's guide to stochastic frontier analysis using Stata*, Cambridge University Press.
- Meesen, W. & van Den Broeck, J. (1977), 'Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error', *International Economic Review* pp. 435–444.
- Nicholson, W. (2005), *Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones: principios básicos y ampliaciones*, Editorial Paraninfo.
- Perdomo, J.-A. & Hueth, D. L. (2010), Funciones de producción y eficiencia técnica en el eje cafetero colombiano: una aproximación con frontera estocástica, Documento de trabajo.
- Perdomo, J. A. & Mendieta, J. C. (2007), 'Factores que afectan la eficiencia técnica y asignativa en el sector cafetero colombiano: una aplicación con análisis envolvente de datos', *Revista Desarrollo y Sociedad* (60), 1–45.
- Pinilla, A. A. (2001), 'La medición de la eficiencia y la productividad'.
- Schmidt, G. & Campión, P. (2006), 'Medición de la eficiencia técnica mediante el método de la frontera estocástica. El caso del sector manufacturero italiano'.
- Shephard, R. W. (1953), *Cost and production functions*, Vol. 194, Princeton: Princeton University Press.



- Torero, M., Maruyama, E. & Elias, M. (2009), ‘Tipología de microregiones de las áreas rurales de Ecuador: Aplicaciones de fronteras estocásticas de utilidades agrícolas’, *Finanzas Públicas* **1**(2).
- Urbina, J. (2017), ‘Eficiencia técnica en la producción de café en Nicaragua: Un análisis de fronteras estocásticas’.
- Wang, Q. (2001), A technical efficiency analysis of Pennsylvania dairy farms, Working paper.

