



Eficiencia técnica del frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) en la Región Caribe de Colombia¹

Technical efficiency of cowpea bean (*Vigna unguiculata* L. Walp) in the Caribbean Region of Colombia

Antonio María Martínez-Reina², Carina Cecilia Cordero-Cordero³, Adriana Patricia Tofño-Rivera³

¹ Recepción: 14 de julio, 2021. Aceptación: 1 de octubre, 2021. Este trabajo formó parte del Proyecto Construcción de una línea de base tecnológica y socioeconómica de las hortalizas en la región Caribe de Colombia de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Turipaná, Cereté, Córdoba, Colombia. amartinezr@agrosavia.co (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-9312-842X>).

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Motilonia, Codazzi, Cesar, Colombia. ccordero@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0003-3688-5835>), atofino@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-7115-7169>).

Resumen

Introducción. Dentro de los sistemas de producción de la economía campesina en la Región Caribe, el frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) es importante dada su calidad nutricional. Hay pocos estudios sobre la asignación de factores de producción por parte del productor. **Objetivo.** Analizar y determinar la eficiencia de la producción de frijol caupí en las regiones productoras del Caribe de Colombia. **Materiales y métodos.** Entre 2018 y 2020 se llevó a cabo el estudio en el que se utilizó la información aplicada a 31 unidades productivas de frijol caupí en los departamentos de Córdoba, la Guajira y el Cesar, en una muestra seleccionada al azar mediante el método de muestreo aleatorio simple. A la muestra se aplicó una encuesta estructurada sobre datos de insumos usados en la producción como mano de obra, semilla, fertilizante. Se calcularon las estadísticas descriptivas, medidas de dispersión, análisis de correlación, regresión y para efectos de evaluar la eficiencia y aporte de cada factor a la producción, se formuló un modelo econométrico tipo Cobb Douglas. **Resultados.** Se generó información sobre la contribución de cada factor a la producción, donde se destaca la semilla y el fertilizante como los de mayor aporte. **Conclusión.** El agricultor, fue eficiente por cuanto se evidenció una relación directa entre el aumento de los insumos y las cantidades producidas, además, la brecha tecnológica es estrecha del orden del 8 %, con rendimientos a escala creciente por la relación directa entre el aumento de los insumos y el aumento del producto.

Palabras clave: producción, factores, insumos, rendimientos, racionalidad, productividad.

Abstract

Introduction. Within the production systems of the peasant economy in the Caribbean Region, the cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) is important given its nutritional quality. There are few studies that inquire about the allocation of production factors by the producer. **Objective.** To analyze and determine the efficiency of cowpea production in the Caribbean producing regions of Colombia. **Materials and methods.** Between 2018 and 2020, the study was conducted



using the information applied to 31 productive units in the producing regions of the departments of Córdoba, La Guajira, and Cesar in a randomly selected sample using the simple random sampling method. A structured survey was applied to the sample on data on inputs used in production such as labor, seed, fertilizer. Descriptive statistics, dispersion measures, correlation, and regression analysis were calculated, and for the purpose of evaluating the efficiency and contribution of each factor to production, a Cobb-Douglas econometric model was formulated. **Results.** Information was generated on the contribution of each factor makes to production, where seed and fertilizer stand out as those with the greatest contribution. **Conclusions.** The farmer was efficient because there was a direct relationship between the increase in inputs and the quantities produced, in addition, the technology gap is narrow of the order of 8 %, with yields on an increasing scale due to the direct relationship between the increase in inputs and the increase in product.

Keywords: production, factors, inputs, returns, rationality, productivity.

Introducción

La alimentación humana debe ser una de las prioridades de los gobiernos y de las instituciones de investigación, es por eso que dentro de los productos seleccionados en la red de hortalizas para realizar un estudio está el frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp), el cual es una leguminosa con gran valor nutricional, fuente de energía (64-69 % de carbohidratos) y micronutrientes (Na, K, Ca, Mg, P, Zn, Fe) (Famata et al., 2013); pero su mayor reconocimiento en temas de nutrición es por su alto contenido de proteína (20-25 %), constituida por globulinas (51 %), albuminas (45 %), prolaminas (1 %) y glutelinas (3 %) (Adeola et al., 2011).

La investigación agropecuaria busca generar productos tecnológicos que contribuyan a aumentar la productividad de los sistemas de producción. En el caso del frijol caupí, se han hecho estudios de caracterizaciones socioeconómicas y tecnológicas del sistema de producción (Martínez et al., 2020). Sin embargo, no se ha hecho un análisis de la eficiencia del cultivo que muestre la racionalidad en el uso de los recursos sobre la producción que permita inferir acerca de los efectos de estos en la producción.

En los análisis de la eficiencia técnica de la producción se pueden aplicar varias técnicas, una de las que más se usa es la del análisis envolvente de datos que combina técnicas como la programación lineal. También es muy conocido el uso de la frontera estocástica como la que usó Martínez et al. (2021), para el caso del sistema de producción de ñame o como también lo hizo Perdomo y Hueth (2011), para el caso del análisis de la eficiencia de la producción de café en unidades productivas de Colombia. Cualquier método que se use de forma adecuada permite medir la eficiencia en la producción como lo afirma Rodríguez et al. (2017), que hay motivos para inferir que un método es mejor que otro y esto se deja a criterio del investigador.

Cuando se va a analizar la producción se hace con base en las unidades producidas por ciclo de producción y los diferentes insumos con sus respectivas cantidades, se trata de expresar la relación funcional entre insumos y productos, para lo cual se presenta como un modelo funcional, donde la producción medida en unidades físicas, como kilogramos por hectárea, es la variable dependiente y los insumos que hacen posible la producción la variable independiente. Esta relación se puede explicar mediante el uso de modelos lineales de tipo funcional o también modelos no lineales (Tomás et al., 2005). Además, se pueden establecer los cambios que experimenta la producción cuando cambian las cantidades de cada uno de los insumos utilizados.

En el caso de la producción de frijol caupí, se usó la técnica de frontera estocástica y la estimación de los parámetros se hizo por el método mínimos cuadrados ordinarios, muy usado en diferentes investigaciones para tratamiento de los datos, en este caso se formuló una función tipo Cobb y Douglas (1928).

En la agricultura se han hecho muchos trabajos que usan el método de frontera estocástica como en el café en Colombia (Perdomo & Hueth, 2011), en ñame (Martínez et al., 2021), en cebolla (Colque, 2019) en Perú y Márquez

et al. (2015), en el análisis de la eficiencia de la producción de frijol en el estado Portuguesa en Venezuela a través del uso de análisis envolvente de datos (DEA). La hipótesis de trabajo es la del agricultor racional en la medida que trata de maximizar el uso de los insumos, busca la mayor producción por unidad de área y en algunos casos trata de identificar los insumos que están sobreutilizados o subutilizados, para recomendar ajustes a la producción y aumentar la eficiencia. Además, se considera que el productor siempre busca la mejor combinación de recursos (de-los-Ríos, 2006).

La formalización matemática de la teoría de la producción corresponde a los planteamientos de la teoría neoclásica, la cual establece una relación funcional entre las cantidades de producto y los insumos utilizados mediante una función tipo Cobb y Douglas (1928), la cual, en forma general, considera que la producción depende de los factores trabajo y capital $Y = f(L, K)$, donde Y es el total de la producción, L factor trabajo y K las unidades de factor capital las labores en general representadas en mano de obra y el uso de máquinas, equipos y herramientas clasificadas como capital.

De acuerdo con los antecedentes revisados no se encontró un estudio similar para el caso del frijol caupí en general y en particular para las zonas productoras de la Región Caribe y por esta razón, este trabajo tuvo como objetivo analizar y determinar la eficiencia de la producción de frijol caupí en las regiones productoras del Caribe de Colombia.

Materiales y métodos

El área de influencia fue la zona productora de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) en la Región Caribe, el trabajo de campo se realizó en el año 2018 y la información se procesó en el año 2020. El área de estudio tiene una extensión total 132 288 km², que participa con el 11,6 % de la superficie total del país, con una superficie insular de 70 km². Según el Censo de Población de Colombia, la población del Caribe colombiano en 2018 se estimó en 9 859 086 habitantes, de los cuales el 73,9 % se ubicaron en el área urbana y el 26,1 % en el área rural. El 15,7 % de la población era afrodescendiente, el 6,8 % indígena y el 77,5 % no tenía etnia (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018). El estudio se realizó en los departamentos de Córdoba (Montería), Cesar (Valledupar, Río de Oro) y la Guajira (Barrancas, Dibulla y San Juan del Cesar) para un total de 31 unidades productivas (Martínez et al., 2020).

Con las estadísticas de la Secretaría de Desarrollo Económico y Agroindustrial, se definió un universo de 846 productores de frijol. La muestra se obtuvo mediante el método de muestreo aleatorio simple, se tomó como variable de muestreo el área cultivada que en este caso el 62 % corresponden a unidades productivas de menos de una hectárea, en tanto que el 38 % cultivan más de una hectárea. Los cálculos se hicieron de acuerdo con Rodríguez (2005), mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{[(e^2 * (N - 1)) + Z^2 * p * q]}$$

Donde:

Z: nivel de confianza elegida en este caso el 95 %.

p: proporción de agricultores que cultivaban menos de una hectárea (122 productores).

q: La diferencia entre el total de la población y la proporción de los agricultores que cultivaban más de una hectárea (58 productores).

e: error máximo (15 %).

N: tamaño de la población (846 unidades productivas).

Con la técnica de muestreo aleatorio simple se definió una muestra de 31 productores de frijol Caupí, a quienes se les aplicó la encuesta estructurada en el segundo semestre del año 2018. La encuesta se hizo con base en un formulario con veintiocho variables, con dos bloques de preguntas uno de tipo socioeconómico y otro de elementos tecnológicos. La información obtenida se tabuló en un archivo plano de Excel, se elaboró una base de datos en el programa SPSS (IBM SPSS). De acuerdo con la formulación de la función Cobb y Douglas (1928), los datos fueron analizados con estadísticas descriptivas y análisis de correlación (ecuación 2).

$$Y = F(k, L) = Ak^\alpha L^\beta \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde:

Y = producción total de frijol caupí (kg ha⁻¹), expresada en unidades físicas.

K = factor capital.

L = trabajo.

α = cambio en la producción Y cuando cambia el factor capital.

β = cambio en Y la producción cuando cambia el factor trabajo.

Los datos originales se transformaron en logaritmo natural para expresar el valor de los parámetros como elasticidades, es decir, el cambio en la cantidad producida por el cambio en una unidad del insumo variable, (Martínez, 2002). Estos parámetros en el caso del símbolo α es el punto de corte o ceros de la función, es la producción cuando no se dan cambios en los insumos y el valor de los parámetros son las elasticidades del producto con relación al cambio de cada insumo. En estas circunstancias en cuantas unidades cambia la producción de frijol por el cambio de una unidad del insumo, cuando este valor es mayor que 1 se presentan rendimientos a escala creciente.

Con los datos de campo previa definición de las variables y la clasificación en variable dependiente y variables explicatorias se procedió a la estimación de los parámetros por el método de los mínimos cuadrados ordinarios (MCO). La linealización de la función se hizo de acuerdo con Toro et al. (2010) con logaritmos naturales (ecuación 3).

$$y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_1 + \beta_2 \ln x_2 + \beta_3 \ln x_3 + \beta_4 \ln x_4 + \beta_5 \ln x_5 + \varepsilon_1 \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde:

ln = logaritmo natural.

Y = cantidad de frijol producido (kg).

X₁ = semilla (kg ha⁻¹).

X₂ = mano de obra jornales por ha.

X₃ = malezas control usada por ha.

X₄ = fertilizante (kg ha⁻¹).

X₅ = área (ha).

$\beta_0 - \beta_4$ = parámetros a estimar (coeficientes de regresión).

ε_1 = término de error o de perturbación.

Para el caso de la ineficiencia se consideró los factores que afectan en forma negativa la eficiencia de la producción de frijol caupí y tienen que ver más con las características socioeconómicas como edad, escolaridad, experiencia (ecuación 4).

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 \ln x_1 + \alpha_2 \ln x_2 + \alpha_3 \ln x_3 + \varepsilon_1 \quad (\text{ecuación 4})$$

Donde:

y = ineficiencia técnica.

x_1 = edad (años).

x_2 = experiencia en el cultivo (años).

x_3 = área cultivada en hectáreas.

ϵ_i = término de error.

$\alpha_0 - \alpha_3$ = parámetros a estimar.

Igual que en la ecuación 3 para la estimación de los parámetros se usó el método de mínimos cuadrados ordinarios en el programa econométrico Eviews 8. Con datos del componente socioeconómico de la encuesta a los 31 agricultores expertos en el cultivo.

Cuando se relaciona la producción real con la producción potencial se obtiene la eficiencia técnica (ecuación 5). En el caso de la producción real es producto del valor de parámetro o elasticidad multiplicada por la desviación estándar. La producción potencial resulta de reemplazar el valor de los parámetros producto de la estimación en la ecuación y, como se trata de una función Cobb y Douglas (1928), se eleva el promedio de la variable por el valor del parámetro y así se obtiene la producción potencial (Perdomo & Hueth, 2011). En caso de que la diferencia entre la producción real y la producción potencial sea igual a cero no hay brecha de producción y esta es eficiente, en otra situación se presentan brechas tecnológicas. También se conoce como la frontera de posibilidades de producción al variar el uso de los insumos para obtener producciones eficientes o ineficientes, según sea el caso.

$$ET = \frac{\text{Producción Real}}{\text{Producción Potencial}} \quad (\text{ecuación 5})$$

Entre más pequeña sea la diferencia entre la producción real y potencial, la eficiencia es mayor. Al ser igual la producción real con la potencial no hay brechas tecnológicas y el valor de la ecuación será de uno y la producción presenta la máxima eficiencia. Se obtuvo de elevar el promedio del valor de los insumos por el valor de los parámetros de cada uno (semillas, mano de obra, fertilizantes y área) estimados en el modelo y reemplazados en la función de producción.

Resultados

Características socioeconómicas de los encuestados

El cultivo del frijol caupí forma parte de la dieta de los habitantes de la Región Caribe y la producción en la mayoría fue bajo el modelo de agricultura familiar, con una baja proporción de insumos contratados. Algunas características sociales se pueden apreciar en el Cuadro 1.

El agricultor de frijol caupí en su mayoría pertenece al género masculino, no obstante, también participaron mujeres en el trabajo de campo, el nivel de escolaridad que más predominó fue la primaria completa y la edad superó los cincuenta años, con experiencia en el manejo del cultivo en la realización de las distintas actividades y las unidades productivas se hacen en pequeñas áreas que en promedio no superan la hectárea cultivada (Cuadro 1).

Los resultados de la regresión por el método de mínimos cuadrados y la estimación de parámetros se pueden apreciar en el Cuadro 2. El valor de los parámetros indica la elasticidad del producto con relación a los insumos en este caso la semilla, la mano de obra las malezas el fertilizante y el área cultivada.

De acuerdo con la estimación, el valor del parámetro semilla de 0,4396642 con signo positivo significa en primer lugar que al aumentar el número de semillas por unidad de área se alcanza aumentos en la producción de frijol. Por un aumento de 1 % en el uso de la semilla la producción crece en 40 %.

Cuadro 1. Variables sociales de los productores de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) en zonas productoras de la Región Caribe, en los departamentos de La Guajira y Cesar, Colombia. 2020.

Table 1. Social variables of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) producers in producing areas of the Caribbean Region in the departments of La Guajira and Cesar, Colombia. 2020.

Variable	Frecuencia	Porcentaje
Género		
Masculino	26	84
Femenino	5	16
Educación		
Primaria	20	65
Bachillerato	9	29
Profesional	2	6
Edad del agricultor en años		
Promedio	59	100
Mínimo	32	
Máximo	77	
Experiencia en el cultivo		
Promedio en años	10	100
Mínimo	1	
Máximo	50	
Área cultivada en frijol hectáreas		
Promedio	1	100
Mínimo	0,5	
Máximo	5	

Cuadro 2. Resultados de la regresión modelo Cobb y Douglas (1928) para el caso del frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) en las zonas productoras de la Región Caribe en los departamentos de La Guajira y Cesar. Colombia. 2020.

Table 2. Results of the Cobb and Douglas (1928) regression model for the case of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) in the producing areas of the Caribbean Region in the departments of La Guajira and Cesar. Colombia. 2020.

Variable	Coficiente	Error estándar	t-estadístico	Probabilidad
C	-1,122297	0,817294	-1,373 188	0,1819
Semilla	0,439642	0,375617	1,170 452	0,2529
Mano de obra	0,124429	0,553753	0,224701	0,8240
Malezas	0,095307	0,527581	0,180648	0,8581
Fertilizante	0,418901	0,504737	0,829940	0,4144
Área	0,805641	0,135733	5,935 496	0,0000

La mano de obra con un valor del parámetro de 0,124429 con signo positivo presentó una relación directa entre aumentar la mano de obra y los aumentos en la producción, por cada aumento de una unidad (1 %) en la mano de obra la producción creció en 0,12 (0,12%). Esto se debe a que el sistema de producción se hace en su mayoría con actividades manuales, siembra, desyerbas y recolección.

El manejo de malezas, las cuales se hacen al combinar métodos manuales y químicos, presenta un valor del parámetro de 0,095307 con un valor positivo, lo que indica que si se hace más intensivo el control de maleza la producción aumenta.

La fertilización del cultivo del frijol causa aumento en la producción en la medida que aumente la fertilización, la respuesta positiva en el cultivo con un valor del parámetro de 0,418901, indica que al aumentar en 1 % el uso del fertilizante la producción de frijol aumentó en 0,41 %.

En el caso del área cultivada con un valor del parámetro de 0,80, muestra que al aumentar el área cultivada se consiguen aumentos en la producción siempre y cuando los otros insumos permanezcan constantes. Algo importante a resaltar es que la variable área resultó significativa y muy consistente en la explicación de la eficiencia de la producción de frijol caupí. En este caso hay una respuesta positiva al aumento del área cultivada, lo cual se explica por la presencia de economías a escala creciente, porque la sumatoria del valor de los parámetros es mayor que 1. Esto a su vez se explica porque todos los parámetros presentaron signo positivo, lo que indica una relación directa entre el aumento del uso de los insumos y el aumento de la producción, la estimación generó un coeficiente de determinación de 0,64 y un Durbin Watson de 1,4 que da razón de su consistencia.

Determinantes de la ineficiencia técnica

Para las determinantes de la ineficiencia técnica, se tuvo en cuenta las variables socioeconómicas edad, experiencia y área cultivada. Con los datos de la encuesta se formuló un modelo econométrico, en el cual se estimaron los parámetros los cuales se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Estimación de los parámetros de la ineficiencia del sistema de producción de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp), en la Región Caribe en los departamentos de La Guajira y Cesar. Colombia. 2020.

Table 3. Estimation of the inefficiency parameters of the cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) production system in the Caribbean Region in the departments of La Guajira and Cesar. Colombia. 2020.

Variable	Coficiente	Error estándar	t-estadístico	Probabilidad
C	1,379629	1,537870	0,897104	0,3776
Edad	-0,480828	0,399964	-1,202 179	0,2397
Experiencia	0,075565	0,143710	0,525819	0,6033
Área	0,703295	0,125213	5,616 802	0,0000

Se trata de medir la ineficiencia de la producción o la explicación de la ineficiencia a través de las variables edad, experiencia y área cultivada. En el caso de la ineficiencia, un valor del parámetro con signo positivo indica que la variable tiene un efecto negativo sobre la eficiencia y el signo negativo del parámetro indica que la variable influye de forma positiva sobre la eficiencia de la producción.

En el caso de la variable edad, con un valor del parámetro de -0,480828 con signo negativo, indica que entre más edad tienen los agricultores, conocen más el manejo del cultivo y podrían ser eficientes en el momento de asignar recursos.

El caso de la variable experiencia, el coeficiente de edad 0,075565 tuvo signo positivo, lo que indica que entre más edad los agricultores no están dispuestos a mejorar la eficiencia. Pueden ser reacios a los cambios y sería una causal para no mejorar la eficiencia.

El área cultivada con un valor del coeficiente de 0,703295 podría entenderse que no por aumentar el área cultivada podría aumentar la eficiencia, en realidad no está probada la presencia de economías de escala en agricultura. Se deja claro que los resultados de la regresión demostraron robustez sustentada en un valor del coeficiente de determinación de 0,80 y un valor del Durbin Watson de 2,3, lo que indica la presencia de no correlación serial o no autocorrelación de los residuos.

Discusión

La estimación de parámetros por el método de mínimos cuadrados ordinarios mostró que en el caso del frijol caupí la eficiencia fue alta sustentada en el valor bajo de las brechas tecnológicas de 0,08 cercana a uno, lo que se considera que la producción real estuvo muy cercana a la producción potencial, lo que indica además que el agricultor fue muy racional al hacer uso de los recursos o factores de producción.

La interpretación de los resultados de la estimación de los parámetros dejó ver la relación directa entre las variables explicatorias: semillas, mano de obra, control de malezas, fertilizante y área cultivada. Es decir que en la medida que se usaron cantidades de cada uno de estos factores es posible alcanzar aumentos en la producción, a pesar de que no fueron significativas, a excepción del área cultivada que sí lo fue, los estadísticos como coeficiente de determinación de 0,64 y el Durbin Watson de 1,4 permiten inferir acerca de la consistencia del modelo y la ausencia de multicolinealidad.

Al comparar los resultados encontrados en el análisis de la eficiencia técnica en el cultivo del frijol zaragoza en la Región Caribe de Colombia con el trabajo de Márquez et al. (2015) en el caso del estado portuguesa en Venezuela, donde usaron la técnica de análisis envolvente (ADE) que reportó una eficiencia técnica del 81,2 %, en tanto que para este estudio fue de 0,92 %. Se evidenció la relación directa entre el aumento en el uso de los insumos y el aumento de la producción.

La mano de obra para la producción de frijol caupí en su mayoría es familiar y la edad promedio es de 55 años, los años de experiencia promedio son once, el 58 % de los productores alcanzaron un nivel de escolaridad básica primaria. Los productores usan gran cantidad de insumos en la unidad productiva (Martínez et al., 2020). La edad promedio obtenida fue superior a la registrada en los cultivadores de caupí en Nigeria (35 años), con un tiempo de manejo similar (quince años), mientras que el 78 % completaron la básica primaria (Joshua et al., 2019).

Con base en las variables socioeconómicas estudiadas como la edad, la escolaridad y la experiencia, se trató de agricultores con edades que superaban los cincuenta años. Sin embargo, la experiencia promedio en años fue de once. La escolaridad promedio del 58 % de los agricultores entrevistados fue de primaria básica (Martínez et al., 2020). Estos resultados se tornan generalizados para caracterizar no solo a los productores de frijol caupí, sino en general para la agricultura de la Región Caribe. Es de notar que la edad promedio para este caso fue muy superior a la de agricultores de frijol caupí en Nigeria con un promedio de 35 años y experiencia de quince años, en tanto que el nivel de escolaridad para Nigeria fue de 78 % con agricultores que terminaron estudios de primaria completa, muy superior a lo encontrado en los agricultores de frijol caupí para la Región Caribe de Colombia.

La mayoría de los agricultores dio cuenta del fenómeno que se ha evidenciado en los diferentes estudios y es el del envejecimiento de los agricultores, la edad promedio fue de 53 años y un mínimo de edad de 40 años. Algo muy similar la reportó el estudio de Orewa & Izekor (2012), en el sistema de producción de ñame en Nigeria, donde encontraron una edad promedio de 59 años. En este mismo sistema de producción Martínez et al. (2021) en su estudio pudieron establecer las edades promedio de 57 años, situación que reafirma la premisa del envejecimiento de los agricultores, no solo en el caso del frijol caupí sino de toda la actividad agrícola en general.

Con relación a la eficiencia técnica, fue evidente, al igual que en otros estudios en diferentes sistemas de producción, la ausencia de economías de escala, lo que indica que la producción tiene límites, debido a la presencia de rendimientos a escala decreciente en la agricultura. Es importante el concepto de productividad, que indica que se debe producir más con los mismos insumos o producir lo mismo, pero gastar menos, en esto, los desarrollos tecnológicos juegan un papel fundamental. La ausencia de rendimiento a escala decreciente se reportó en estudios empíricos como los de Orewa & Izekor (2012), en el cual se presentó un rendimiento a escala decreciente con un coeficiente de 0,73, igual sucedió con los estudios de Márquez et al. (2015) con un valor 0,81, Martínez et al. (2021) en el sistema de producción de ñame con 0,9, Colque (2019) en el caso de la cebolla en el Perú con 0,27. De ahí que no por aumentar el uso de los insumos se consiguieron mayores aumentos en el frijol (kg ha^{-1}), esto debido a la presencia de la ley de los rendimientos marginales decrecientes, porque el crecimiento de la producción tiene límites.

Los resultados de la eficiencia técnica en el cultivo del frijol caupí presentaron una brecha tecnológica muy baja cercana a cero (0,08), lo cual se explica por la relación directa entre el uso de los insumos semilla, mano de obra, fertilizantes, área cultivada y la producción de frijol caupí. Esta situación es muy similar a lo encontrado por Márquez et al. (2015) en el caso del frijol en el estado de Portuguesa en Venezuela con una brecha tecnológica del 0,81 %, los autores llegaron a ese resultado mediante la técnica de análisis envolvente de datos. En el sistema de producción de ñame se evidenció que variables como el manejo de malezas y fertilización sin análisis de suelos, fueron las causas de la ineficiencia en el cultivo (Martínez et al., 2021). En el caso del frijol caupí, la semilla, los fertilizantes y el área cultivada fueron los factores que mayor aporte le hicieron al incremento de la producción. Lo encontrado para el área cultivada, podría entenderse que no por aumentar el área cultivada podría aumentar la eficiencia, en realidad no está probada la presencia de economías de escala en agricultura como lo demostró en Martínez et al. (2021) en el caso de ñame o Perdomo & Hueth (2011), en el caso del café en Colombia.

Conclusiones

De acuerdo con los análisis de la producción de frijol caupí se concluyó que los agricultores fueron racionales y eficientes al realizar la producción, con una brecha de producción cercana a cero (0,08). Los resultados mostraron que mientras la producción real fue de 1,65 t ha⁻¹, la producción potencial de 1,79 t ha⁻¹, lo que se atribuye la buena utilización de los insumos que participan en la producción.

La alta eficiencia cercana a uno se explica por relación directa entre las cantidades de insumos que intervienen en la producción como es: semilla, mano de obra manejo de malezas, cantidades de fertilizante y el área cultivada, donde la semilla, el fertilizante y el área cultivada fueron los que más contribuyeron al aumento de la producción y se consideraron elementos importantes en la explicación de la eficiencia.

El análisis de la eficiencia de producción de frijol caupí mostró que con rendimientos promedio de 1,56 t ha⁻¹ es posible generar excedentes económicos, porque con estos rendimientos los ingresos superan a los costos, sin embargo, en la medida que se acerque a la producción potencial es posible que se mejoren los indicadores de retorno con más ventajas económicas para los agricultores.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a los agricultores de frijol caupí de los departamentos Córdoba, La Guajira y El Cesar en la Región Caribe por el suministro de la información necesaria para la obtención de los resultados. Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por el apoyo financiero para el proyecto “Ajuste a los sistemas productivos de variedades mejoradas hortícolas priorizadas para el Caribe colombiano con beneficio a la comercialización y mitigación del impacto ambiental” y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Referencias

Adeola, S. S., Folorunso, T., Gama, N., Amodu, Y., & Owolabi, O. (2011). Productivity and profitability analyses of cowpea production in Kaduna State. *Advances in Applied Science Research*, 2(4), 72–78. <https://www.imedpub.com/articles/productivity-and-profitability-analyses-of-cowpea-production-in-kaduna-state.pdf>

- Cobb, C. W., & Douglas, P. (1928). A theory of production. *American Economic Review*, 18(Supplement), 139–165. <https://www.jstor.org/stable/1811556>
- Colque, T. J. (2019). Evaluación económica de la producción de pequeños productores de cebollas (*Allium cepa* L.) en municipios de Achacachi y Ancoraimas del departamento de La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(1), 70–78. <http://riiarn.agro.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/25/9>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018). *Encuesta Nacional Agropecuaria*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2018/boletin_ena_2018.pdf
- de-los-Ríos, C. (2006). La eficiencia técnica en la agricultura peruana. El caso del algodón Tangüis en los valles de Huaral, Cañete y Chincha. *Debate Agrario*, 40(41), 141–168. <https://larevistaagrariaperu.files.wordpress.com/2019/03/07-de-los-rios.pdf>
- Famata, A. S., Modu, S., Mida, H. M., Hajjagana, L., Shettima, A. Y. & Hadiza, A. (2013). Chemical composition and mineral element content of two Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) varieties as food supplement. *International Research Journal of Biochemistry and Bioinformatics*, 3(4), 93–99.
- Joshua, T., Zalkuwi, J., & Audu, M. (2019). Analysis of cost and return in cowpea production: A case study Mubi south local government area of Adamawa State, Nigeria. *Agricultural Science and Technology*, 11(2), 144–147. <https://doi.org/10.15547/ast.2019.02.023>
- Márquez, C. T., Velásquez, A., Flores, O., Flores, L., & Gazón, J. (2015). Factores determinantes en la eficiencia técnica de explotaciones de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(11), 2067–2073. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.774>
- Martínez, A. (2002). Aplicación de la función Cobb Douglas al secado de yuca en la Costa Atlántica de Colombia. *Comercio Exterior*, 54(11), 970-974. <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/70/3/RCE3.pdf>
- Martínez, A. M., Tordecilla, L., Grandett, L., Rodríguez, M. V., Cordero, C., & Tofiño, A. (2020). Fríjol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp): Perspectiva socioeconómica y tecnológica en el Caribe colombiano. *Ciencia y Agricultura*, 17(2), 12–22. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n2.2020.10644>
- Martínez, A. M., Tordecilla, L., Grandett, L., Regino, M., Luna, L., & Pérez, S. (2021). Analysis of the technical efficiency of the cultivation of yam (*Dioscorea* spp.) in the Caribbean Region of Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(2), Article e1244. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12445>
- Orewa, S. I., & Izeke, O. (2012). Technical efficiency analysis of yam production in Edo state: A stochastic frontier approach. *International Journal of Development and Sustainability*, 1(2), 516–526. <https://core.ac.uk/download/pdf/26854716.pdf>
- Perdomo, J. A., & Hueth, D. L. (2011). Funciones de producción, análisis de economías a escala y eficiencia técnica en el eje cafetero colombiano: una aproximación con frontera estocástica. *Revista Colombiana de Estadística*, 34(2), 377–402.
- Rodríguez, J. (2005). *Métodos de muestreos, casos prácticos*. Centro de Investigaciones Sociológicas. <https://libreria.cis.es/libros/metodos-de-muestreo-casos-practicos/9788474763843/>
- Rodríguez, S. R., Brugiafredo, M., & Raña, E. (2017). Eficiencia técnica en la agricultura familiar: Análisis envolvente de datos (DEA) versus aproximación de fronteras estocásticas (SFA) Technical efficiency in family farming: data envelopment analysis (DEA) vs. Stochastic frontiers approach (SFA). *Nova Scientia*, 9(18), 342–370. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.697>

- Tomás, J. M., Rodrigo, M., & Oliver, A. (2005) Modelos lineales y no lineales en la explicación de la siniestralidad laboral. *Psicothema*, 17(1), 154–163. <https://www.redalyc.org/pdf/727/72717125.pdf>
- Toro, P., García, A., Aguilar, C., Acero, R., Perea, J., & Vera, R. (2010). *Modelos econométricos para el desarrollo de funciones de producción* [Documentos de trabajo producción animal y gestión DT13, Vol. 1]. Universidad de Córdoba. [http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/25_14_43_Modelos2\[1\].pdf](http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/25_14_43_Modelos2[1].pdf)