

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

School of Economics

Efectos de variables climáticas sobre la eficiencia agrícola: El caso de la producción del cacao fino de aroma en la provincia de Manabí-Ecuador en el período 2016-2019..

Darwin Marcelo Varela Lascano

Economía

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Economista

Quito, 17 de mayo de 2023

Universidad San Francisco de Quito USFQ
School of Economics

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Efectos de variables climáticas sobre la eficiencia agrícola: El caso de la producción del cacao fino de aroma en la provincia de Manabí-Ecuador en el período 2016-2019.

Darwin Marcelo Varela Lascano

Nombre del profesor, Título académico

Jorge Jair Ávila Santamaría, PhD.

Quito, 17 de mayo de 2023

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: **Darwin Marcelo Varela Lascano**

Código: 211394

Cédula de identidad: 1500833577

Lugar y fecha: Quito, 17 de mayo de 2023

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

La presente investigación examina los efectos de las variables climáticas, con un enfoque especial en la precipitación, sobre la eficiencia agrícola en la producción del cacao fino de aroma en la provincia de Manabí, Ecuador, durante el período 2016-2019. Se recolectaron datos de la Encuesta de Superficie Agropecuaria Continua (ESPAC), y se empleó la técnica de Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia relativa de las fincas. Además, se aplicó un modelo Tobit para examinar cómo la pluviosidad y otros factores sociales afectan los indicadores de eficiencia. Los hallazgos indican que, en promedio, todos los productores son ineficientes y que la precipitación tiene un efecto significativo en la eficiencia productiva, especialmente en los retornos variables del 2016, disminuyendo en 17.6 puntos porcentuales por cada aumento del 1% en la precipitación.

Keywords: Análisis envolvente de datos, Eficiencia productiva, Variabilidad climática, Tobit, Manabí, Ecuador.

ABSTRACT

The present investigation examines the effects of climatic variables, with a special focus on precipitation, on agricultural efficiency in the production of fine aroma cocoa in the province of Manabí, Ecuador, during the period 2016-2019. Data from the Continuous Agricultural Surface Survey (ESPAC) were collected, and the Data Envelopment Analysis (DEA) technique was used to evaluate the relative efficiency of the farms. In addition, a Tobit model was applied to examine how rainfall and other social factors affect efficiency indicators. The findings indicate that, on average, all producers are inefficient and that precipitation has a significant effect on productive efficiency, especially in 2016 variable returns, decreasing by 17.6 percentage points for every 1% increase in precipitation.

Keywords: Data envelopment analysis, Productive efficiency, Climate variability, Tobit, Manabí, Ecuador.

TABLA DE CONTENIDO

<i>I. Introducción</i>	8
Revisión de la literatura o fundamentos teóricos	10
<i>II. Producción Cacaotera en Ecuador</i>	10
<i>III. Variabilidad climática en Ecuador</i>	11
Principales consecuencias y políticas públicas.....	12
Importancia del cacao (valor e historia) y de la agricultura en Ecuador	13
<i>IV. Data</i>	16
<i>V. Metodología</i>	17
Estimación DEA	17
TOBIT	21
<i>VII. Conclusiones</i>	28
<i>VIII. Investigaciones futuras</i>	29
<i>IX. Referencias</i>	30

I. Introducción

El cambio climático es un proceso no solamente natural, sino que ha sido acelerado por la actividad humana a partir de la era de la “Industrialización”. Esta situación ocasiona la degradación del medio ambiente y la manifestación de fenómenos climáticos extremos tales como sequías, aumento y disminución de temperatura, inundaciones, entre otros. El cambio climático se define como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables” (Díaz, 2012), lo cual es evidente a lo largo de los años y ha provocado repercusiones tan graves que son difíciles de remediar.

Según Miller (2007), los factores que afectan el cambio climático incluyen los cambios en el desnivel del mar, los efectos de las nubes, la emisión de aerosoles a la atmósfera, aumento en las emisiones de dióxido de carbono, el gas metano, hidratos de metano. Sin embargo, en la Cumbre de Poznan, Polonia en 2008, Díaz (2012) señaló que el cambio climático se debe principalmente a la emisión de gases de efecto invernadero causados por el uso de combustibles fósiles y que las actividades humanas generan emisiones de cuatro gases de efecto invernadero de larga permanencia: CO₂, metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y halo carbonos (grupo de gases que contienen flúor, cloro o bromo). Los modelos presentan que el dióxido de carbono es responsable del 56.5% de las emisiones. Por lo tanto, la contaminación excesiva y el mal manejo de los recursos naturales por parte de los humanos son los principales causantes del cambio climático, sin considerar las graves repercusiones a futuro.

El cambio climático tiene graves implicaciones económicas y sociales en todos los países. Por ejemplo, el reconocido premio nobel de economía, y llamado “padre de la economía del cambio climático, William Nordhaus estima el costo social del carbono en US\$31 por

tonelada de CO₂ en el 2010 (Nordhaus, 2017); el concepto del “costo social del carbono” intenta desvelar las consecuencias que tienen las emisiones de este gas de efecto invernadero y entender de mejor manera las políticas para enfrentar este cambio climático. Por otro lado, en términos de la actividad agrícola, el cambio climático afecta a la producción de cultivos por la variabilidad del clima y eventos extremos como sequías e inundaciones como lo mencionan Lobell, Schlenker y Costa (2011) en su investigación “Climate trends and global crop production since 1980” donde encuentran que el cambio climático ha tenido un efecto negativo en la producción de varios cultivos importantes, especialmente en regiones más cálidas. Por lo tanto, este presente caso de estudio se centrará en analizar cómo ha afectado el cambio climático, en específico la variabilidad en la pluviosidad o precipitaciones, a la eficiencia en la producción de cacao fino de aroma en la provincia de Manabí en el Ecuador, usando por separado las bases de datos de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) de los años 2016 al 2019. Se elige el cultivo de cacao fino de aroma dada su gran influencia debido a su larga historia en el país y su gran importancia en la generación de ingresos por exportaciones (Coll y Jiménez, 2022).

La motivación para esta tesis es la importancia de calcular la eficiencia de la producción agrícola en el Ecuador y analizar cómo el cambio climático afecta a el proceso productivo de las fincas ecuatorianas. Esto puede permitir nuevos estudios y mejoras en el ámbito político, social y económico en el Ecuador, al optar por estrategias que puedan mejorar el rendimiento de los productos estrella de exportación, tomando medidas para mitigar la pérdida causada debido al cambio climático. Por lo tanto, la presente tesis responderá a la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto de la variabilidad de la pluviosidad sobre el nivel de eficiencia de la producción del cacao fino de aroma en la provincia de Manabí, Ecuador, ¿en cada año del periodo de 2016-2019?

Los resultados muestran que todos los productores de cacao fino de aroma en la provincia de Manabí son ineficientes en ambas escalas, y que la precipitación tiene un efecto significativo en la eficiencia productiva en 2016, disminuyendo en promedio en 17.1 puntos porcentuales por cada 1% de aumento en la precipitación. La edad tiene un efecto negativo sobre la producción en 2016, 2017 y 2018, pero no es económicamente significativo.

Revisión de la literatura o fundamentos teóricos

El cacao fino de aroma es reconocido internacionalmente por su alta calidad y características únicas de sabor y aroma. Ecuador se posiciona como uno de los principales productores de este tipo de cacao, y su producción impacta significativamente en la economía del país. En este marco teórico, se examinarán distintos aspectos relacionados con la producción de cacao fino de aroma en Ecuador. Se centrará en los siguientes subtemas: la producción cacaotera en Ecuador y su sistema productivo, la cadena de valor del cacao fino de aroma, las exportaciones de cacao, las políticas públicas relacionadas con la producción cacaotera, así como la variabilidad climática en Ecuador y sus consecuencias para la agricultura, incluyendo políticas públicas relacionadas con este fenómeno.

II. Producción Cacaotera en Ecuador

Sistema productivo, cadena de valor, exportaciones y políticas públicas

El sistema productivo del cacao fino de aroma en Ecuador se caracteriza por una combinación de factores climáticos, variedades de cacao, prácticas agrícolas y procesamiento pos-cosecha que influyen en la calidad del producto final. Según Mendoza et al. (2019), existen diferentes sistemas de producción utilizados en Ecuador, que van desde pequeñas fincas familiares hasta grandes plantaciones. Estos sistemas varían en términos de tamaño, tecnología utilizada, manejo agronómico y organización de los productores. La cadena de valor del cacao

fino de aroma en Ecuador involucra a diversos actores, desde los productores y procesadores hasta los exportadores y consumidores finales. Según González et al. (2020), esta cadena se caracteriza por la existencia de una amplia variedad de intermediarios y la presencia de organizaciones de productores que buscan mejorar la calidad y promover la comercialización del cacao fino de aroma.

Las exportaciones de cacao fino de aroma son fundamentales para la economía ecuatoriana. Según datos del Banco Central del Ecuador (2021), el cacao es uno de los principales productos de exportación no petroleros del país. El aumento de la demanda internacional de cacao fino de aroma representa una oportunidad para los productores ecuatorianos, aunque deben superar desafíos relacionados con la calidad, la logística y los precios para mejorar su competitividad en los mercados internacionales. En este sentido, las políticas públicas desempeñan un papel crucial en el desarrollo y fomento de la producción de cacao fino de aroma en Ecuador. Estas políticas abarcan aspectos como la inversión en investigación y desarrollo, la promoción de la calidad y la competitividad del cacao, y la implementación de programas de apoyo a los productores. De acuerdo con Zambrano y Espinosa (2020), en Ecuador se han implementado políticas públicas dirigidas a mejorar la producción cacaotera, como la creación de instituciones especializadas, la promoción de la asociatividad de los productores y la implementación de programas de certificación de calidad.

III. Variabilidad climática en Ecuador

La variabilidad climática en Ecuador se refiere a las fluctuaciones naturales del clima que ocurren a diferentes escalas temporales, desde cambios estacionales hasta fenómenos climáticos extremos. Esta variabilidad tiene importantes consecuencias para la producción de cacao fino de aroma y está estrechamente relacionada con la agricultura en general. El período de estudio que se ha considerado comprende los años 2016 a 2019 en la provincia de Manabí,

según los datos proporcionados por la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM), el año 2017 fue el que presentó la mayor precipitación anual, alcanzando un total de 1339 mm. Por otro lado, el año siguiente (2018) registró la precipitación anual más baja, con una cantidad de 783 mm. Asimismo, se observó que el máximo diario de precipitación anual se registró en el año 2017, con un valor de 168,4 mm. En contraste, el año 2016 fue el período en el que se registraron más días sin precipitación, llegando a un total de 250 días, mientras que el mismo año tuvo menos días con precipitación, registrando un total de 115 días.

Principales consecuencias y políticas públicas

La variabilidad climática en Ecuador puede tener diversas consecuencias para la producción de cacao fino de aroma. Estas consecuencias pueden incluir cambios en los patrones de precipitación, temperaturas extremas, eventos climáticos adversos y la alteración de los ciclos de crecimiento del cacao. Según Torres et al. (2018), estos cambios pueden afectar la productividad, la calidad y la resistencia del cacao, lo que a su vez puede tener un impacto negativo en la rentabilidad y sostenibilidad de los productores. Además, tiene un impacto directo en la agricultura, incluyendo la producción de cacao fino de aroma. Los cambios en los patrones de precipitación y temperatura pueden alterar los ciclos de crecimiento del cacao, aumentar el riesgo de enfermedades y plagas, y comprometer la disponibilidad de agua para el riego. Según Carvajal et al. (2021), estas variaciones climáticas pueden requerir que los agricultores adopten medidas de adaptación, como el uso eficiente del agua, la selección de variedades resistentes al estrés climático y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles.

Las políticas públicas son fundamentales para enfrentar los desafíos que plantea la variabilidad climática en la agricultura, incluyendo la producción de cacao fino de aroma. Para ello, deben abordar aspectos como la planificación del uso de la tierra, el acceso a tecnologías

agrícolas adaptadas al clima, la gestión sostenible del agua y la promoción de prácticas agroforestales resilientes. En este sentido, el gobierno ecuatoriano ha implementado el Plan Nacional de Desarrollo del Sector Cacaotero 2018-2022, promovido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el cual busca fomentar la producción sostenible de cacao, incluyendo estrategias de adaptación al cambio climático (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018).

Asimismo, es necesario fortalecer la coordinación entre los diferentes actores involucrados en la producción de cacao fino de aroma y promover la participación activa de los agricultores en la toma de decisiones y en la implementación de políticas climáticas (Lasso et al., 2019). De esta manera, se podrán integrar de forma más efectiva los conocimientos científicos y tradicionales en la planificación y ejecución de medidas de adaptación al cambio climático.

Importancia del cacao (valor e historia) y de la agricultura en Ecuador

El cacao es un cultivo que se originó en América Central y del Sur que ha sido cultivado en Ecuador por más de 5000 años. Según diversos estudios (Gálvez et al., 2016; Samaniego et al., 2017), las culturas indígenas precolombinas consideraban el cacao como algo sagrado, usándolo en ceremonias y rituales. Tras la llegada de los colonizadores españoles, el cacao se convirtió en un producto de exportación y su cultivo se extendió a lo largo del territorio ecuatoriano.

Datos históricos:

- En la década de 1980, el área de cultivo de cacao en Ecuador era de alrededor de 220.000 hectáreas, con una producción anual de alrededor de 100.000 toneladas de cacao.

- En la década de 1990, la superficie de cultivo de cacao se redujo a alrededor de 200.000 hectáreas, y la producción anual promedio de cacao fue de alrededor de 70.000 toneladas.
- En la década de 2000, el área de cultivo de cacao se mantuvo estable en alrededor de 200.000 hectáreas, con una producción anual promedio de alrededor de 95.000 toneladas de cacao.
- En la década de 2010, el área de cultivo de cacao en Ecuador se expandió a alrededor de 300.000 hectáreas, con una producción anual promedio de alrededor de 250.000 toneladas de cacao.
- En 2020, la superficie de cultivo de cacao en Ecuador se estima en alrededor de 330.000 hectáreas, con una producción anual de alrededor de 290.000 toneladas de cacao.

Como se mencionó anteriormente, la importancia del cacao en la economía y cultura de Ecuador es innegable. Según El Comercio (2022) la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao e Industrializados del Ecuador (Anecacao), en el 2021, las exportaciones de cacao y sus semielaborados superaron los USD 950 millones, siendo uno de los principales productos de exportación del país y altamente valorado por su calidad y sabor distintivo en los mercados internacionales. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador (2021), el cacao ocupa el tercer lugar entre los productos agrícolas de exportación del país, generando importantes ingresos y empleo para muchas comunidades campesinas e indígenas. Además, el cacao ha sido un elemento clave en la cultura y gastronomía ecuatoriana, utilizado en la producción de una amplia variedad de productos como chocolates y bebidas. Es por esta razón que desde 2012 se celebra el Día Nacional del Cacao el 5 de febrero de cada año para rendir homenaje a este producto icónico del país (Samaniego et al., 2017).

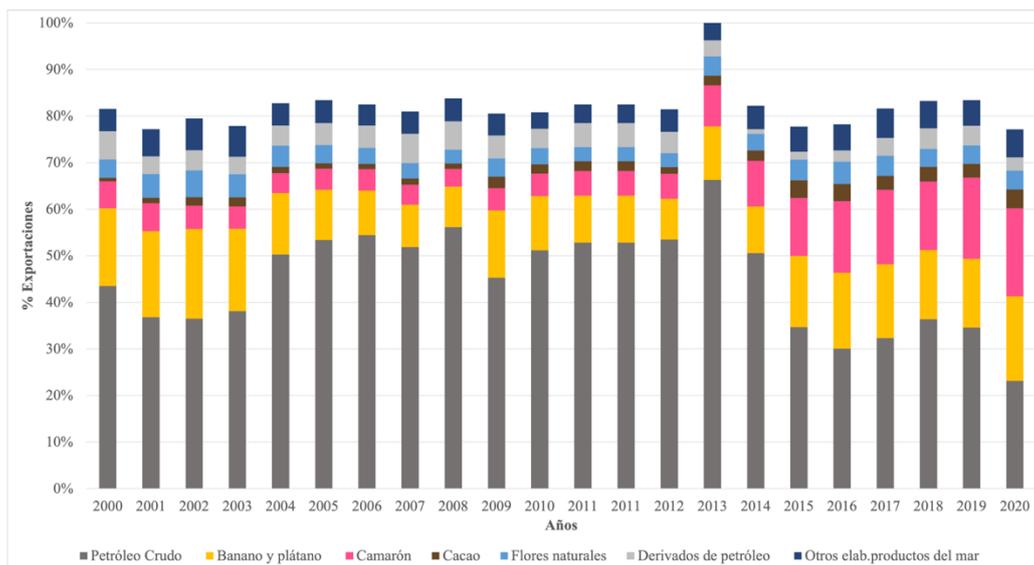


Gráfico 1: Participación promedio de los principales productos de exportación. Darwin Varela, 2023.

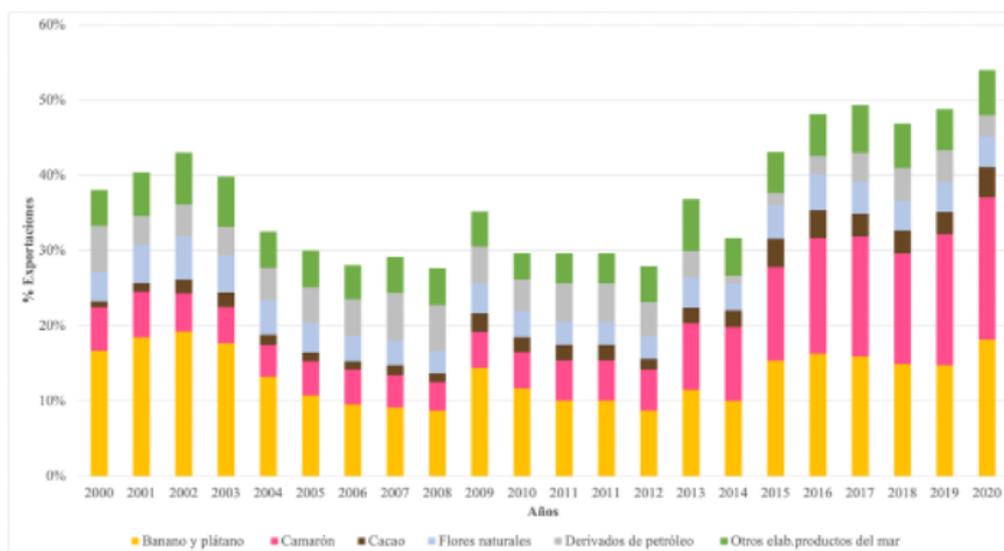


Gráfico 2: Participación promedio de los principales productos de exportación (excluyendo el Petróleo Crudo). Darwin Varela, 2023.

Como se puede observar en el gráfico 1 y 2, la contribución del cacao a la balanza comercial ecuatoriana sigue siendo significativa, representando en promedio alrededor del 2% desde el año 2000 hasta el 2020. Este estudio se enfocará en Ecuador y evaluará la eficiencia agrícola y el impacto ambiental del cambio climático en la producción de cacao en las diferentes provincias del país.

IV. Data

La Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) es la principal fuente de información oficial sobre el sector agropecuario en Ecuador. Adopta un marco de muestreo de acuerdo con las recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y proporciona información sobre la superficie plantada y cosechada de 52 productos agrícolas específicos, información sobre ganado, aves y empleo en el sector agropecuario (INEC, 2023). Para este estudio, se utilizaron las bases de datos del ESPAC de los años 2016 al 2019, descargadas en formato SAV desde la página del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Fueron transformadas a formato DTA para poder trabajar con ellas y se unieron mediante la variable identificadora. Se cambiaron las descripciones de las variables para facilitar su manipulación debido a que la base se encontraba dividida por los capítulos de la encuesta y lo que se quiere lograr es utilizar estas bases de datos para cada año correspondiente. Se unió las bases de datos que contienen cultivos permanentes, empleo, uso del suelo y características generales de los productores y se cambió la descripción de las variables. Para limpiar la data se enfocó en el cacao fino de aroma para lo cual solo se utilizó los datos que tuvieran los dos códigos dados por la encuesta en la variable cp_clacul para identificar cuál cultivo es el del cacao fino de aroma, estos son: 482 y 483.

De igual manera, para identificar solo la provincia de Manabí, se utilizó la variable “provincia”, donde el número 13 corresponde a dicha provincia. Esta investigación se centra en el aspecto agrícola y es de gran utilidad para realizar el análisis pertinente. Además, se utilizarán datos de pluviosidad extraídos del European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) para visualizar el efecto que tiene esta variable sobre la eficiencia productiva del cacao fino de aroma. Se exportaron los datos promedio de la precipitación para el periodo 2016- 2019 en la provincia de Manabí en Ecuador, a nivel parroquial, y se utilizó la

desviación estándar de estos datos para obtener la variabilidad de la pluviosidad, que es la variable climática para utilizar.

Las variables que se utilizarán en todo el presente estudio, una vez aplicados los filtros mencionados, se presentan a continuación en la tabla 1:

Tabla 1. Estadísticas descriptivas, Promedio (Desviación Estándar)

	2016	2017	2018	2019
	.686	.836	.906	.877
PRODUCCIÓN EN TONELADAS MÉTRICAS	(3.282)	(1.092)	(3.539)	(1.927)
TOTAL DE TRABAJADORES EN EL TERRENO	2.711	2.738	2.727	3.025
	(1.832)	(3.833)	(2.149)	(5.157)
SUPERFICIE EDAD PRODUCTIVA HECTÁREAS	4.393	3.923	3.911	4.001
	(18.125)	(4.788)	(5.258)	(5.848)
LNPLUVIOSIDADSD	-5.245	-5.401	-5.67	-5.628
	(0.193)	(0.280)	(0.260)	(0.328)
HOMBRE	1.178	1.175	1.184	1.154
	(0.383)	(0.380)	(0.388)	(0.362)
EDAD CULTIVO	30.155	32.177	29.915	28.834
	(18.296)	(19.244)	(17.272)	(19.580)
EDAD	57.829	58.017	58.365	60.314
	(14.542)	(14.366)	(14.669)	(15.276)
INSTRUCCIÓN FORMAL	2.109	2.352	2.123	2.277
	(2.3138)	(2.301)	(2.123)	(2.232)
BENEFICIARIO DEL SEGURO AGRÍCOLA	1.971	1.953	1.459	1.504
	(0.168)	(0.212)	(0.499)	(0.501)
OBSERVACIONES	516	531	488	357

Darwin Varela, 2023.

V. Metodología

Estimación DEA

El Data Envelopment Analysis (DEA), es una técnica utilizada en economía para evaluar la eficiencia de unidades de decisión. Se basa en la relación entre los inputs y los outputs para determinar la eficiencia relativa de las unidades. Según Fontalvo (2015), se trata de la relación de la sumatoria ponderada de las salidas sobre la suma ponderada de las

entradas, y su objetivo es encontrar las unidades de decisión eficientes que utilicen la menor cantidad de inputs para producir la mayor cantidad de outputs. Existen dos tipos de rendimientos que se utilizan: los constantes a escala (eficiencia técnica general) y los variables a escala (eficiencia técnica pura).

La figura 3 ilustra la eficiencia técnica general (CRS) y la eficiencia técnica pura (VRS), representando tres empresas ubicadas en los puntos A, B y C en la frontera de producción. Aunque todas las empresas son técnicamente eficientes, no tienen la misma productividad debido a los efectos de escala. La empresa A opera en la parte de rendimientos crecientes a escala de la frontera de producción y podría aumentar su productividad al incrementar su escala de operación hacia el punto B. Por otro lado, la empresa C opera en la parte de rendimientos decrecientes a escala de la frontera de producción y podría volverse más productiva al reducir su escala de operaciones hacia el punto B. Sin embargo, la empresa en el punto B no puede mejorar su productividad mediante cambios en su escala de operaciones.

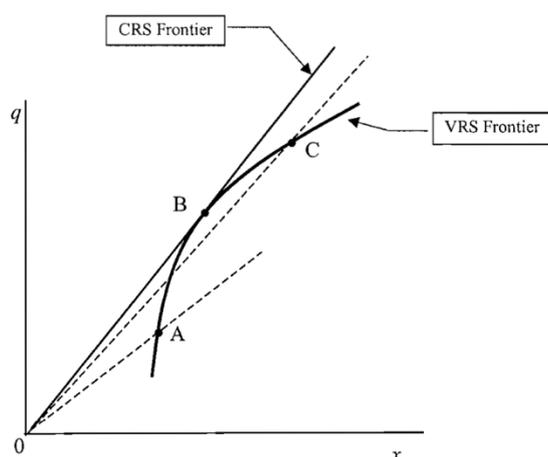


Figura 3: Components of the data envelopment analysis used. Coelli, 2005.

El DEA puede ser input u output orientado, y el más utilizado es el input orientado según Cooper, Seiford y Tone (2007), por lo que se utilizará el DEA con input orientado para

ver como las unidades de medida tratan de reducir el uso de los insumos manteniendo constante el nivel de producción, Cook y Zhu (2016) explican que el DEA orientado al input se basa en identificar las variables de entrada y de salida utilizadas por cada unidad de decisión para encontrar la mejor combinación de inputs que maximice la eficiencia.

En esta investigación en particular, para calcular la eficiencia productiva del cacao fino de aroma las variables de entrada incluyen el número total de trabajadores y la superficie en edad productiva en hectáreas, mientras que la producción de cacao fino de aroma en toneladas métricas es la variable de salida. De modo que nuestras entradas y salidas las podemos visualizar en la siguiente tabla:

INPUTS	OUTPUTS
Total de trabajadores en el terreno	Producción en toneladas métricas
Superficie en edad productiva hectáreas	

Tabla 2: Entradas y salidas. Darwin Varela, 2023.

Al final, se estima dos tipos de DEA de input-orientado, uno con rendimientos constante a escala (CRS, siglas en inglés) y uno con rendimientos variables a escala (VRS, siglas en inglés). Para el modelo CRS se resuelve la siguiente programación lineal:

$$\begin{aligned}
 & \min \theta, \\
 & \theta, \lambda \\
 & \text{sujeto a} \\
 & -y_i + Y\lambda \geq 0 \\
 & \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\
 & \lambda \geq 0
 \end{aligned}$$

Siendo θ el puntaje total de eficiencia técnica de i -ésima finca y λ es un vector de pesos $N \times 1$ asignados a los insumos (X) y productos (Y). El valor de θ debe satisfacer la

restricción: $\theta \leq 1$. Si θ es igual a 1, indica que la finca se encuentra en la frontera de producción y es una empresa técnicamente eficiente. Se debe resolver el problema de programación lineal l veces, una vez para cada empresa en la muestra. En cada caso, se obtiene un valor de θ para la empresa en cuestión. Básicamente, el problema toma una empresa específica (la i -ésima) y busca reducir el vector de entrada, x , de manera radial tanto como sea posible, dentro del conjunto factible de entrada. El límite interno de este conjunto está definido por una curva de nivel lineal y segmentada, determinada por los puntos de datos observados (es decir, todas las empresas de la muestra). Al contraer radialmente el vector de entrada, x , se obtiene un punto proyectado (XA, YA) en la superficie de esta tecnología. Este punto proyectado es una combinación lineal de los puntos de datos observados. Las restricciones aseguran que este punto proyectado no se encuentre fuera del conjunto factible.

Para VRS (variable return scale):

$$\begin{aligned} & \min \theta, \\ & \theta, \lambda \\ & \text{sujeto a} \\ & -y_i + Y\lambda \geq 0 \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ & \frac{N1}{\lambda} = 1 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

Manteniendo toda la anterior interpretación igual, se agrega una nueva restricción de $N1/\lambda = 1$ como una restricción de convexidad que garantiza que una finca ineficiente solo se compare con fincas de un tamaño similar donde $N1$ es un vector de unos, esto busca crear un casco convexo formado por planos de intersección que cubren los puntos de datos de manera más sólida que el casco cónico CRS. Como resultado, proporciona puntajes de eficiencia técnica que son iguales o mayores que los obtenidos con el modelo CRS. En otras palabras, este enfoque garantiza una evaluación más precisa y favorable de la eficiencia técnica al

envolver los datos de manera más ajustada y precisa. θ es la eficiencia técnica o la puntuación de eficiencia técnica pura de la i -ésima empresa.

En síntesis, el modelo del DEA orientado al input es una herramienta valiosa para la evaluación de la eficiencia de las unidades de decisión en diversos sectores de la economía. Su utilización permite identificar las mejores prácticas y optimizar los procesos productivos, lo que se traduce en una mayor eficiencia y rentabilidad para las organizaciones, utilizándolo se podrá obtener niveles de eficiencia productiva con retornos constantes y variables a escala para el cacao fino de aroma.

TOBIT

El modelo Tobit es una técnica estadística utilizada en econometría para analizar variables dependientes que presentan limitaciones en su rango de valores. En nuestro caso, la variable dependiente es la eficiencia en que producen las granjas de cacao fino de aroma. Esta eficiencia solo toma valores máximos hasta 1, por lo cual está censurada en 1. De esta forma seguimos a los estudios como Riesgo et al. (2018) y Begum et al. (2012) para analizar la relación entre la eficiencia de los cultivos de cacao y las condiciones climáticas y otros factores relacionados con este cultivo. Así, el modelo de regresión Tobit puede ser expresado de la siguiente manera:

$$\theta^* = X\beta + \mu$$

Donde θ^* es una variable latente que no se observa en todo su rango potencial. Por ejemplo, este θ^* es la eficiencia que puede tomar valores positivos. Sin embargo, en la práctica la eficiencia observada (θ) toma valores tales como $0 < \theta \leq 1$, y cualquier valor por encima de este máximo se censura en 1. Así, lo que observamos en realidad es:

$$(1) \quad \theta = X\beta + \mu \text{ si } \theta^* \leq 1$$

$$(2) \quad \theta = 1 \text{ si } \theta^* > 1$$

La ecuación 1 se estima por máxima verosimilitud y para lo cual utilizamos el comando de Stata, tobit (ver Cameron and Trivedi, 2009).

Por lo tanto, se ha decidido utilizar el modelo Tobit, con la eficiencia con retornos variables a escala (VRS) que será la variable dependiente porque permite una mayor flexibilidad en la medición de la eficiencia relativa, no impone restricciones sobre la escala de producción o los rendimientos a escala, y puede identificar unidades de decisión que están operando en la frontera de eficiencia sin imponer restricciones en la relación entre los insumos y los productos. Y la variabilidad de la lluvia que será la variable independiente. Como variables de control se tomará el género de la persona dueña del terreno, la edad del productor y del cultivo, el nivel de educación del dueño del terreno, si el productor tiene seguro campesino y si el cultivo utiliza riego. Estas variables han sido seleccionadas basándose en la información proporcionada por los siguientes artículos:

- El estudio de Jaforullah y Premachandra (2003), en el cual se utilizaron tres técnicas de estimación diferentes para calcular las eficiencias técnicas en la producción láctea de Nueva Zelanda, considerando tanto rendimientos constantes como variables a escala. A través del método DEA, encontraron que la eficiencia técnica promedio fue alta.
- El estudio de O'Donnell y Griffiths (2014), en el cual se midió la eficiencia en la producción de trigo en Estados Unidos utilizando DEA. Para ello, aplicaron un enfoque de frontera estocástica que permitió capturar tanto la ineficiencia técnica como la ineficiencia por factores externos.

- El estudio de Kea, Li y Pich (2016), en el cual utilizaron el método DEA para medir la eficiencia técnica y determinar los factores centrales que afectan la producción de arroz en Camboya.
- El estudio de Barrios, Bertinelli y Strobl (2010), en el cual utilizaron una variable de pluviosidad llamada anomalía de precipitación. Esta es la desviación estándar de la pluviosidad y la dan a entender como la variabilidad de la lluvia y afecta a la producción agrícola.

Los hallazgos revelaron que el riego, las técnicas de producción, la cantidad de personal de apoyo agrícola y la variabilidad de la lluvia son los factores que más influyen en la eficiencia productiva.

En resumen, el modelo Tobit es una herramienta para analizar datos censurados en el ámbito del cultivo del cacao en relación con las condiciones climáticas. Si se utiliza de manera adecuada, este puede ofrecer información relevante acerca de cómo las condiciones climáticas afectan la producción de cacao y cómo los productores pueden adaptarse a estas circunstancias para mejorar su producción.

VI. Resultados

Estimación DEA

Se estableció como un objetivo del estudio determinar los niveles de eficiencia con retornos constantes y variables a escala en una muestra de productores de cacao fino de aroma en la provincia de Manabí, utilizando la técnica DEA. Las eficiencias técnicas y de escala orientadas a los insumos de los productores de cacao fino de aroma se calcularon mediante la metodología DEA mencionada anteriormente. En las figuras 4 y 5 se presentan resúmenes de los resultados sobre la eficiencia técnica general (retornos constantes a escala) y la eficiencia

técnica pura (retornos variables a escala) desde los años 2016 al 2019, según el nivel de educación y el género de los productores.

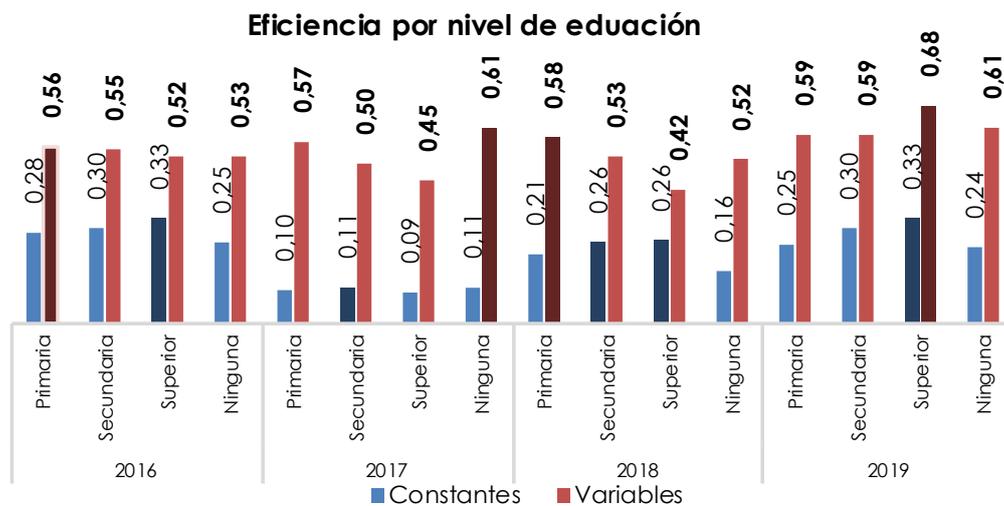


Figura 4: Eficiencia por nivel de educación. Darwin Varela, 2023.

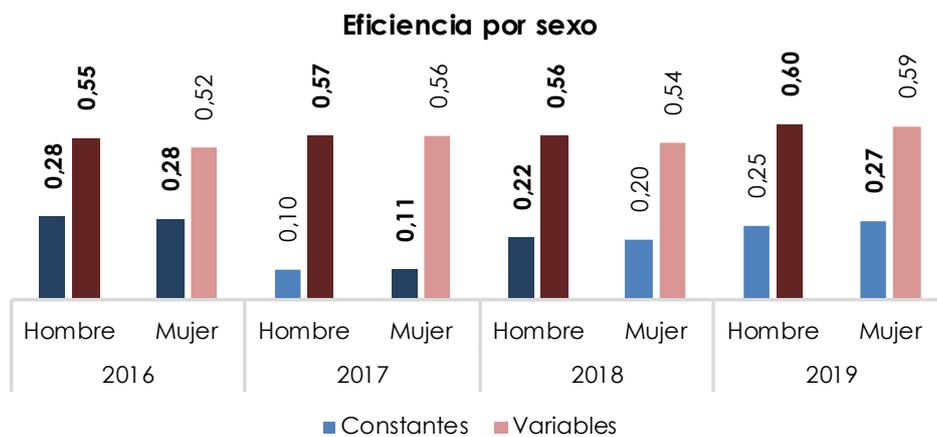


Figura 5: Eficiencia género. Darwin Varela, 2023.

Los resultados presentados en las figuras 4 y 5 muestran que en promedio los productores de cacao fino de aroma analizados eran técnicamente ineficientes, tanto bajo rendimientos constantes a escala como bajo rendimientos variables a escala, lo que sugiere un potencial para mejorar su eficiencia técnica. Esta ineficiencia indica que los productores utilizaban insumos en exceso para producir su nivel de producción. En cuanto a la educación,

los resultados muestran que, con rendimientos constantes, los productores con educación secundaria y superior son más eficientes, mientras que, con rendimientos variables, son más eficientes aquellos con educación primaria, excepto en el año 2019 donde los de educación superior obtuvieron mejores resultados.

La expectativa inicial era que los productores con mayor nivel educativo serían más eficientes en la producción de cacao, pero los resultados obtenidos fueron opuestos en términos de rendimientos variables a escala. Sin embargo, es interesante destacar que en el año 2019 se observó lo que se esperaba, es decir, una mayor eficiencia en los productores con mayor educación, aunque esto no es estadísticamente significativo. En cuanto al género de los productores, los resultados indican que, con retornos constantes a escala, la eficiencia es similar entre hombres y mujeres. Sin embargo, al analizar los retornos variables a escala, se observa que no existe diferencia entre hombres y mujeres debido a que la diferencia en medias no es estadísticamente significativa (0.2423).

Los puntajes de eficiencia técnica bajo VRS fueron en promedio más altos que aquellos bajo CRS, debido a que con VRS permite una mayor flexibilidad en la elección de la escala de producción y, por lo tanto, puede proporcionar una mejor estimación de la eficiencia técnica (ver Ji y Lee, 2010). Las diferencias en las puntuaciones medias de eficiencia bajo los dos rendimientos diferentes a escala ponen de relieve que la ineficiencia de escala estaba presente. Todos los productores analizados fueron ineficientes a escala tanto bajo CRS como VRS, es decir, que no están ocupando de la mejor manera sus inputs para producir su output lo que ocasiona que sean ineficientes. A lo largo del tiempo podemos decir que la eficiencia productiva con rendimientos variables a escala ha tenido una tasa de crecimiento promedio de 3,1% entre 2016 a 2019 como se muestra en la figura 6.

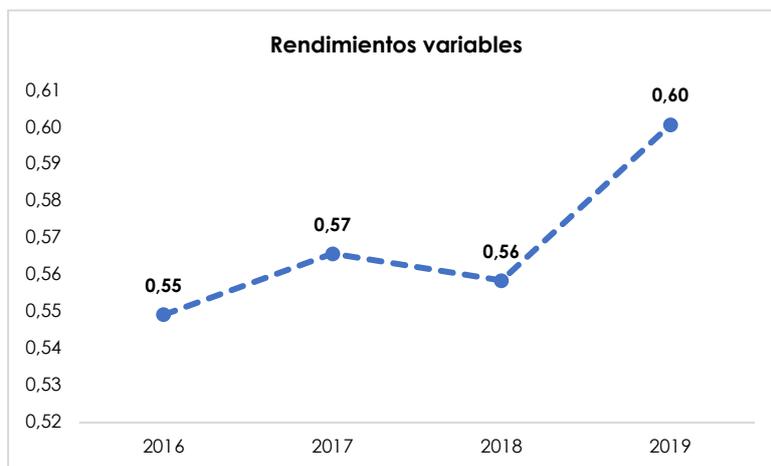


Figura 6: Rendimientos variables. Darwin Varela, 2023.

Estimación Tobit

El objetivo principal de esta tesis fue analizar el efecto de la variabilidad de la pluviosidad sobre el nivel de eficiencia de la producción del cacao fino de aroma en la provincia de Manabí en Ecuador en el período 2016-2019 mediante un modelo Tobit. Además, se incluyeron los controles ya mencionados para ver el efecto que tienen estos sobre la eficiencia productiva del cacao fino de aroma. Los resultados obtenidos se presentan a continuación en la tabla 3:

Tabla 3: Resultados objetivo

	2016 (1)	(2)	2017 (3)	(4)	2018 (5)	(6)	2019 (7)	(8)
	VRS_TE	VRS_TE	VRS_TE	VRS_TE	VRS_TE	VRS_TE	VRS_TE	VRS_TE
VRS_TE								
LNPLUVIOSIDADSD	-0.171* (-2.33)	-0.150* (-2.09)	-0.0125 (-0.19)	0.0284 (0.44)	-0.0274 (-0.43)	-0.0369 (-0.58)	-0.0617 (-0.90)	-0.0486 (-0.70)
HOMBRE		0.0361 (1.01)		0.0183 (0.40)		0.0455 (1.09)		-0.00615 (-0.10)
EDAD		-0.00331*** (-3.33)		-0.00528*** (-4.13)		-0.00297* (-2.50)		0.00217 (1.41)
PRIMARIA		0 (.)		0 (.)		0 (.)		0 (.)
SECUNDARIA		-0.0363 (-0.76)		-0.123* (-2.18)		-0.102* (-2.01)		0.0111 (0.16)
SUPERIOR		-0.0962 (-1.45)		-0.169* (-2.21)		-0.218** (-2.72)		0.112 (1.11)
NINGUNA		-0.00687 (-0.18)		0.0945* (2.02)		-0.0766 (-1.62)		0.00197 (0.03)
SEGUROCAMPESINOSI		0.0665 (0.80)		0.0381 (0.45)		-0.0188 (-0.55)		-0.0367 (-0.80)
EDADCULTIVO		-0.00227** (-2.96)		-0.00201* (-2.11)		0.00101 (1.03)		-0.00140 (-1.20)
RIEGOSI		0.202* (2.55)		0.0390 (0.46)		0.0391 (0.47)		-0.00879 (-0.09)
Constant	-0.320 (-0.83)	0.0191 (0.05)	0.561 (1.61)	1.139** (3.15)	0.447 (1.24)	0.542 (1.45)	0.327 (0.84)	0.325 (0.81)
/								
var(e.VRS_TE)	0.0996*** (13.47)	0.0921*** (13.48)	0.162*** (12.55)	0.150*** (12.57)	0.127*** (12.50)	0.122*** (12.51)	0.163*** (9.87)	0.160*** (9.87)
Observations	516	516	531	531	488	488	341	341

t statistics in parentheses

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Darwin Varela, 2023.

En el año 2016 a medida que aumenta la lluvia presentada en la variabilidad de la pluviosidad en 1% se reduce la eficiencia y la productividad de los cultivos en 0.171 puntos porcentuales. Sin embargo, para los otros años no existió una relación estadísticamente significativa para esta variable de pluviosidad, las otras variables que incidieron en el rendimiento fueron: la edad de las personas, un aumento en un año de las personas hace que se reduzca la eficiencia productiva en el año 2016, 2017 y 2018 donde se puede observar una reducción de la eficiencia de 0.00331, 0.00528 y 0.00297 en puntos porcentuales para cada uno de los años respectivamente. Lo mismo ocurre con la edad de los cultivos, un aumento en un año de los cultivos hace que se reduzca la eficiencia productiva en el año 2016 y 2017 en

0.00227 y 0.00201 en puntos porcentuales para cada uno de los años respectivamente, si el cultivo tiene riego en el año 2016 es el único año para el cual es estadísticamente significativo, si es que los cultivos tienen riego hace que aumente su eficiencia productiva en 0.202 puntos porcentuales y, el nivel de instrucción de los trabajadores (2017-2018).

VII. Conclusiones

El estudio tuvo como objetivo dos partes: por un lado, calcular las eficiencias técnicas y de escala orientadas a los insumos a nivel de productor de acuerdo con la metodología DEA; y, por otro lado, analizar el efecto de la variabilidad de la pluviosidad sobre el nivel de eficiencia de la producción del cacao fino de aroma en la provincia de Manabí en Ecuador en el período 2016-2019. Los resultados indicaron que todas las fincas muestreadas eran ineficientes en escala tanto bajo rendimientos constantes a escala como rendimientos variables a escala. La estimación de las puntuaciones de eficiencia de escala mediante la técnica de análisis envolvente de datos (DEA) mostró que, en promedio, la mayoría de los productores cacaoteros manabitas durante los períodos de referencia del estudio no estaban operando a la máxima eficiencia de escala y tienen un marcado potencial de mejora. En otras palabras, eran productores ineficientes con el tamaño de sus fincas. La ineficiencia de escala contribuyó significativamente a la ineficiencia técnica experimentada por las fincas. Si las fincas manabitas ecuatorianas aumentaran su escala de operación, el grado general de eficiencia técnica debería aumentar. Los proveedores de servicios de extensión agrícola pueden ayudar a identificar las mejores prácticas de gestión y asesorar a los agricultores sobre cómo mejorar su eficiencia técnica.

Adicionalmente, se puede observar que la variación en la pluviosidad si es significativa para el año 2016, pero que también existen otras variables que inciden en el rendimiento como: la edad de las personas (2016-2017), la edad de los cultivos (2016-2018),

si tiene riego (2016) y, el nivel de instrucción de los trabajadores (2017-2018). En conclusión, las personas con menos educación tuvieron puntuaciones más altas de eficiencia, una hipótesis de esto puede ser que aquellos con mayor educación podrían tener otras actividades importantes que les impidan enfocarse plenamente en la producción de cacao fino de aroma, lo que afectaría su eficiencia en la producción, aunque en la literatura se encuentra un efecto contrario, como el revisado en Ragasa y Berhane (2012) mostrando cómo la falta de educación puede afectar negativamente el desempeño agrícola. Estas variables independientes en su mayoría ayudaron a ver un efecto significativo en la eficiencia agrícola donde podían hacer que esta variable de eficiencia aumente o disminuya, gracias a ello igual se deberían hacer planes para mejorar el sistema de riego y dar más incentivos a personas con menor educación para que puedan trabajar de manera más eficiente en el campo.

VIII. Investigaciones futuras

Existen modelos econométricos de eficiencia que tienen otras especificaciones. No solo se considera la precipitaciones sino también la temperatura (ver McFadden et al., 2021). Con la idea mejorar nuestra investigación, se planea estimar este modelo de eficiencia con otras especificaciones. Además, de estimar el índice de eficiencia con modelos econométricos.

Finalmente, esta investigación se puede expandir a otros cultivos (ejemplo, banano, café, arroz, etc.) y estimar de forma representativa a nivel de provincia esta eficiencia usando los factores de expansión.

IX. Referencias

- Banco Central del Ecuador. (2021). Balanza comercial de bienes no petroleros. Recuperado de <https://www.bce.fin.ec/index.php/indicadores-economicos/balanza-comercial-de-bienes>
- Barrios, S., Bertinelli, L., & Strobl, E. (2010). TRENDS IN RAINFALL AND ECONOMIC GROWTH IN AFRICA: A NEGLECTED CAUSE OF THE AFRICAN GROWTH TRAGEDY. *The Review of Economics and Statistics*, 92(2), 350–366. <http://www.jstor.org/stable/27867541>
- Begum, I.A., Alam, M.J., Buysse, J., Frija, A., van Huylenbroeck, G., 2012. Contract farmer and poultry farm efficiency in Bangladesh: A data envelopment analysis. *Appl. Econ.* 44, 3737–3747. <https://doi.org/10.1080/00036846.2011.581216>
- Cameron, A.C., Trivedi, P.K., 2009. Tobit and Selection Models, in: *Microeconometrics Using Stata*. Stata Press, pp. 521–550.
- Carvajal, M., López, R., & Rodríguez, G. (2021). Impacto de la variabilidad climática en la agricultura del Ecuador: Caso de estudio del cultivo de cacao fino de aroma. *Revista Agricultura y Sociedad*, 30(2), 53-70.
- Cedeño, M., Ortega, K., & Jaramillo, D. (2020). Cocoa Production in Ecuador: A Review. *Foods*, 9(5), 586. <https://doi.org/10.3390/foods9050586>
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer science & business media.
- Coll, E. P. C., & Dilas-Jiménez, J. O. (2022). Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma. *Qantu Yachay*, 2(1), 08-15.

- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. Springer Science & Business Media.
- Corporación Nacional de Cacao del Ecuador. (s.f.). Historia. Recuperado el 23 de febrero de 2023, de <https://www.nacionaldecacao.com.ec/historia/>
- Díaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad*. Recuperado de: <https://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/bitstream/handle/123456789/1392/CISO20123702-227-240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- El cacao rompió un récord en el 2021. (2022, 11 febrero). *El Comercio*. Recuperado 14 de mayo de 2023, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/cacao-record-exportaciones-toneladas-2021.html>
- Fontalvo, Tomás, De La Hoz, Efraín, & De La Hoz, Enrique. (2018). Método Análisis Envolvente de Datos y Redes Neuronales en la Evaluación y Predicción de la Eficiencia Técnica de Pequeñas Empresas Exportadoras. *Información tecnológica*, 29(6), 267-276. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000600267>
- Frei, F. X., & Harker, P. T. (1999). Projections onto efficient frontiers: theoretical and computational extensions to DEA. *Journal of Productivity analysis*, 11, 275-300.
- Gálvez, R. M., Jaramillo, V. J., & Tapia, M. E. (2016). El cultivo de cacao en el Ecuador. *Revista Espacios*, 37(18), 8.
- González, E., Romero, L., & Serrano, M. (2020). La cadena de valor del cacao y sus impactos en la calidad del cacao fino de aroma en Ecuador. *Investigación Agraria*, 22(2), 97-108.
- Torres, A., Ortega, E., & Rios, C. (2018). Consecuencias de la variabilidad climática en la producción de cacao fino de aroma en Ecuador. *Revista Ecosistemas*, 27(1), 26-35.

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). Estadísticas Agropecuarias. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Ismat Ara Begum, Mohammad Jahangir Alam, Jeroen Buysse, Aymen Frija & Guido Van Huylenbroeck (2012). Contract farmer and poultry farm efficiency in Bangladesh: a data envelopment analysis, *Applied Economics*, 44:28, 3737-3747. <http://dx.doi.org/10.1080/00036846.2011.581216>
- Jaforullah, M., & Premachandra, E. (2003). Sensitivity of technical efficiency estimates to estimation approaches: An investigation using New Zealand dairy industry data.
- Ji, Y. B., & Lee, C. (2010). Data envelopment analysis. *The Stata Journal*, 10(2), 267-280.
- Kea, S., Li, H., & Pich, L. (2016). Technical efficiency and its determinants of rice production in Cambodia. *Economies*, 4(4), 22.
- Lasso, J., et al. (2019). Coordinación multiactor en la implementación de políticas climáticas en la producción de cacao fino de aroma en Ecuador. *Revista de Estudios Agrarios*, 15(29), 47-66.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620.
- McFadden, J.R., Rosburg, A., Njuki, E., 2021. Information Inputs and Technical Efficiency in Midwest Corn Production: Evidence from Farmers' Use of Yield and Soil Maps. *Am. J. Agric. Econ.* 1–24. <https://doi.org/10.1111/ajae.12251>
- Mendoza, R., Muñoz, W., & Maldonado, A. (2019). Análisis del sistema productivo cacaotero ecuatoriano y su evolución reciente. *Revista Científica UDO Agrícola*, 19(1), 153-162.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2018). Plan Nacional de Desarrollo del Sector Cacaotero 2018-2022. Recuperado de [incluir URL del documento]
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). Plan Nacional de Cacao 2017-2021. Quito, Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. (2022). Anuario de estadísticas agropecuarias 2022. Recuperado el 23 de febrero de 2023, de <https://www.agricultura.gob.ec/anuario-de-estadisticas-agropecuarias-2022/>
- Miller, G., 2007, Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral, 8va edición, Editores Internacional Thomson, México.
- Nordhaus, W.D., 2017. Revisiting the social cost of carbon. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 114, 1518–1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>
- O'Donnell, C., & Griffiths, J. (2014). Efficiency of wheat production in the United States: A stochastic frontier approach. *Agricultural Economics*, 45(3), 321-331. doi: 10.1111/agec.12091
- Osman, I. H., Berbary, L. N., Sidani, Y., Al-Ayoubi, B., & Emrouznejad, A. (2011). Data envelopment analysis model for the appraisal and relative performance evaluation of nurses at an intensive care unit. *Journal of medical systems*, 35, 1039-1062.
- Ragasa, C., & Berhane, G. (2012). Gender, education, and agricultural productivity: Evidence from rural Ethiopia. *Agricultural Economics*, 43(5), 593-604.
- Riesgo, L., Torres, G., & Haro, J. (2018). Modelización de la producción de cacao en la región San Martín usando un modelo Tobit. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 339-351.
- Samaniego, M. A., Herrera, A. F., & Cevallos, J. F. (2017). La cultura del cacao y el chocolate en el Ecuador. *Revista Innovación y Tecnología*, 1(1), 14-23.

Torres, A., Ortega, E., & Rios, C. (2018). Consecuencias de la variabilidad climática en la producción de cacao fino de aroma en Ecuador. *Revista Ecosistemas*, 27(1), 26-35.

Zambrano, J., & Espinosa, C. (2020). Políticas públicas para la producción de cacao fino de aroma en Ecuador. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(90), 542-559.