

**Análisis de eficiencia y productividad del sector citrícola en el departamento de Santander en el periodo 2016-2020**

Deiby Moises Diaz Mesa

Trabajo de grado para Optar al Título de Ingeniero Industrial

Director

Rafael Antonio Viana Barceló

Magíster en Ciencias Económicas

Codirectora

Laura Yeraldín Escobar Rodríguez

Magíster en Ingeniería Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Ingeniería Industrial

Bucaramanga

2023

### **Dedicatoria**

*A mis padres, mis hermanos y mi sobrina que creyeron en mí y me ayudaron a finalizar este proceso, especialmente a mi madre que no pudo estar aquí para verlo concluido.*

*A ti, por estar a mi lado en los momentos difíciles, por tus abrazos y tu incondicional compañía en estos años.*

### **Agradecimientos**

*A mi codirectora Laura Escobar por su guía y paciencia durante el desarrollo de este trabajo,  
por su confianza y apoyo para llegar a este punto.*

*A mi director Rafael Viana por orientar este trabajo, darme su acompañamiento durante este  
proceso y hacerme desarrollar habilidades en investigación.*

*A mis compañeros de universidad que me acompañaron y dieron su amistad, a los profesores de  
mi escuela que me dieron sus enseñanzas.*

*A la UIS y la EEIE por haberme permitido desarrollar mi vida académica y formación como  
profesional integral.*

*A todos ellos les agradezco profundamente el haberme dado su mano para llegar hasta aquí.*

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	11
Tabla de cumplimiento de objetivos .....	13
1. Planteamiento del problema.....	14
2. Objetivos .....	18
2.1 Objetivo General.....	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
3. Revisión de la literatura .....	18
3.1 Análisis bibliométrico.....	19
3.2 Análisis de la literatura .....	28
3.2.1 Caracterización del sector citrícola en Colombia .....	37
4. Marco Referencial.....	42
4.1 Marco de antecedentes .....	42
4.2 Marco teórico .....	44
4.2.1 Eficiencia y productividad.....	44
4.2.2 Análisis envolvente de datos (DEA).....	46
4.2.3 Índice Malmquist .....	49
4.2.4 Índice Hicks-Moorsteen.....	50
4.2.5 Variables .....	52
5. Metodología de la investigación .....	54
5.1 Revisión de la literatura .....	55
5.2 Identificación de variables .....	56

5.3 Análisis de productividad y eficiencia .....	56
5.4 Resultados y conclusiones .....	57
6. Definición del modelo de índice de Hicks-Moorsteen.....	58
6.1 Variables .....	59
6.1.1 Variables asociadas a insumos.....	59
6.1.2 Variables asociadas a productos .....	59
6.2 Índice de Hicks-Moorsteen.....	63
7. Implementación del modelo Hicks-Moorsteen .....	64
8. Resultados .....	66
8.1 Evaluación en departamentos .....	66
8.2 Evaluación en municipios de Santander .....	75
9. Conclusiones .....	91
10. Recomendaciones.....	92
Referencias bibliográficas.....	93

### Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Cumplimiento de objetivos.....	13
Tabla 2 Ecuación preliminar de búsqueda en Scopus.....	19
Tabla 3 Ecuación de búsqueda en Scopus .....	19
Tabla 4 Metodologías y variables identificadas en la revisión de literatura.....	35
Tabla 5 Variables recogidas en los informes del Ministerio de Agricultura .....	53
Tabla 6 Actividades ejecutadas durante la investigación. ....	57
Tabla 7 Variables de análisis, periodo 2016-2020.....	59
Tabla 8 Estadísticas iniciales del comportamiento anual de las variables.....	62
Tabla 9 Variación de TFP en departamentos.....	67
Tabla 10 Variación porcentual de TFP en departamentos.....	68
Tabla 11 Variación de TFPE en departamentos .....	69
Tabla 12 Variación porcentual de TFPE en departamentos.....	70
Tabla 13 Variación de MP en departamentos .....	71
Tabla 14 Variación porcentual de MP en departamentos .....	72
Tabla 15 Promedio de las variaciones de TFP, MP y TFPE en los departamentos.....	73
Tabla 16 Métricas de variables e índices en Santander .....	74
Tabla 17 Variables de análisis en municipios, periodo 2016-2020 .....	76
Tabla 18 Estadísticas iniciales del comportamiento anual de las variables en municipios .....	79
Tabla 19 Variación TFP en municipios .....	80
Tabla 20 Variación porcentual TFP en municipios .....	81
Tabla 21 Variación TFPE en municipios.....	82

Tabla 22	Variación porcentual de TFPE en municipios .....	83
Tabla 23	Variación MP en municipios .....	84
Tabla 24	Variación porcentual MP en municipios .....	85
Tabla 25	Métricas de variables e índices en Girón .....	86
Tabla 26	Métricas de variables e índices en Lebrija.....	87
Tabla 27	Métricas de variables e índices en Rionegro .....	87
Tabla 28	Promedio de las variaciones de TFP, MP y TFPE en los municipios .....	88

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Comportamiento de las publicaciones en Scopus. ....	20
Figura 2 Porcentaje de artículos por área de investigación.....	21
Figura 3 Documentos publicados por país.....	22
Figura 4 Principales entidades origen de las publicaciones.....	23
Figura 5 Principales patrocinadores de las publicaciones.....	24
Figura 6 Nube de correlaciones relevantes con autores en la temática a investigar .....	24
Figura 7 Autores con mayor número de documentos publicados.....	25
Figura 8 Documentos más citados .....	26
Figura 9 Nube de palabras clave.....	27
Figura 10 DEA con orientación a la salida .....	30
Figura 11 Medidas de eficiencia y productividad.....	34
Figura 12 Composición de la cadena de cítricos en Colombia.....	38
Figura 13 Caracterización de zonas de producción .....	38
Figura 14 Composición sectorial del PIB 2020.....	40
Figura 15 Porcentaje de cultivos permanentes y transitorios en Colombia en 2020. ....	41
Figura 16 Exportaciones colombianas por grupo de producto en miles de dólares.....	41
Figura 17 Fases de metodología de investigación .....	55
Figura 18 Pestaña Levels de resultados. ....	65
Figura 19 Pestaña Changes de resultados. ....	66

## Resumen

**Título:** Análisis de eficiencia y productividad del sector citrícola en el departamento de Santander en el periodo 2016-2020\*

**Autor:** Deiby Moises Diaz Mesa\*\*

**Palabras Clave:** Eficiencia, productividad, cítricos, índice Hicks-Moorsteen, TFP.

**Descripción:** En la presente investigación se ejecuta un análisis de eficiencia y productividad utilizando el índice de Hicks-Moorsteen, aplicado al sector citrícola del departamento de Santander. Este trabajo se desarrolla bajo el proyecto raíz: “Diseño de un laboratorio vivo rural para el fortalecimiento de la competitividad y sostenibilidad del sector citrícola Santander”. El modelo se ejecuta en el entorno de desarrollo de RStudio, utilizando la función hicksmoorsteen y evaluando los cambios en los componentes de productividad (TFP), eficiencia (TFPE) y tecnología (MP). El análisis se desarrolla con las variables de área sembrada (hectáreas) como insumo, producción (toneladas) y rendimiento (toneladas/hectárea) como productos, bajo los supuestos de rendimientos variables a escala (VRS) y orientación output. Los datos utilizados en el análisis son suministrados por el DANE, mediante las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) durante el periodo 2016-2020. El índice de Hicks-Moorsteen, desarrollado a partir de la metodología DEA, permite observar las variaciones y evaluar el comportamiento de los componentes de la Productividad Total de los Factores (TFP). Para efectuar las comparaciones en estas métricas, se toma como referencia una muestra de departamentos con importancia en el sector citrícola a nivel nacional. Además, se evalúan las variaciones en los índices de TFP en una muestra de municipios de Santander donde se concentra la producción de este cultivo.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: MSc. Rafael Antonio Viana Barceló. Codirectora: MSc. Laura Yeraldín Escobar Rodríguez

### Abstract

**Title:** Analysis of efficiency and productivity of the citrus sector in Santander department in the period 2016-2020\*

**Author:** Deiby Moises Diaz Mesa \*\*

**Key Words:** Efficiency, productivity, citrus, Hicks-Moorsteen index, TFP

**Description:** In this research an efficiency and productivity analysis is performed using the Hicks-Moorsteen index, applied to the citrus sector of Santander department. This work is developed under the project: "Design of a living rural laboratory for strengthening the competitiveness and sustainability of the Santander citrus sector". The model runs in the RStudio development environment, using the hicksmoorsteen function and evaluating changes in productivity components (TFP), efficiency (TFPE) and technology (MP). The analysis is developed with the variables of sown area (hectares) as input, production (tons) and yield (tons/hectare) as products, under the assumptions of variable returns to scale (VRS) and output orientation. The data used in the analysis are provided by DANE, through the Municipal Agricultural Assessments (EVA) during the period 2016-2020. The Hicks-Moorsteen index, developed from the DEA methodology, allows us to observe the variations and evaluate the behavior of the components of Total Factor Productivity (TFP). To make comparisons in these metrics, a sample of departments with importance in the citrus sector at national level is taken as a reference. In addition, variations in TFP indexes are evaluated in a sample of municipalities in Santander where the production of this crop is concentrated.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering. Industrial and Business School. Director: MSc. Rafael Antonio Viana Barceló, Co-director: MSc. Laura Yeraldín Escobar Rodríguez

## Introducción

Históricamente el sector agrícola ha sido de gran importancia para el sistema económico de la gran mayoría de países. De acuerdo con Loizou et al (2019), en el mundo desarrollado, la agricultura ha dejado de ser considerada como el principal sector económico y su papel como contribuyente al crecimiento económico nacional a menudo se subestima o se descuida. Sin embargo, algunos factores como la globalización y por consiguiente el aumento del comercio de productos agrícolas, ha derivado en que algunos países experimenten escasez de bienes agrícolas. Estos hechos han vuelto a centrar la atención del papel de la agricultura en la economía.

Colombia no es ajena a la problemática mundial. En el país, el papel de la agricultura en la economía representa un reto debido al descenso continuo de su participación en el producto interno bruto (Banco Mundial, 2022), y a que existe gran potencial de hectáreas de tierras aprovechables que aún no son cultivadas (DANE, 2019). La incidencia de fenómenos ambientales ligados al cambio climático como la Niña, el Niño y sus consecuencias: condiciones anormales de temperatura, altas precipitaciones y erosión del suelo, aunado a la crisis desatada por la pandemia, donde los precios de los insumos agropecuarios han experimentado una alta inflación experimentada por, problemas de logística y escasez de insumos agropecuarios, ha minado la competitividad y sostenibilidad del sector.

La tecnificación de los procesos agrícolas, así como el aprovechamiento de recursos al máximo y la obtención de mejores rendimientos son claves en la búsqueda de un sector agrícola competitivo y sostenible que potencie las capacidades empresariales de los campesinos y productores, afianzando un desarrollo paulatino de este renglón de la economía.

En lo que respecta al departamento de Santander, este destaca por poseer áreas cultivables en diversidad de climas y alturas, lo cual hace viable la producción de una gran gama de productos agrícolas. De acuerdo con los datos recopilados en el Plan Departamental de Extensión Agropecuaria 2020-2023, los cinco cultivos predominantes en el departamento son palma africana, cacao, café, caña panelera y cítricos, donde además de estos resalta la mora (segundo productor nacional). Los cítricos constituyen el objeto de estudio de esta investigación, el conjunto de frutos asociados a cítricos: mandarina, naranja y limón, siendo relevante este último con el potencial de exportación en la variedad Tahití con 3987 hectáreas, con una producción de 21000 toneladas anuales y alrededor del 83% de participación en la exportación nacional (Secretaría de Agricultura de Santander, 2020).

Sin embargo, las problemáticas derivadas de deficiencias estructurales y falta de políticas agrarias claras convergen en poco desarrollo del espectro agrario, dificultando la participación de los productores en el comercio nacional e internacional, agravando ciertas limitaciones existentes en términos logísticos, técnicos y sociales, donde un seguimiento a nivel técnico de los recursos utilizados y sus salidas o resultados, un análisis orientado al input- output que permita observar los componentes base para cuantificar la productividad en el sector citrícola del departamento de Santander, posibilitando una vista general de variables prioritarias a tener en cuenta para un análisis adecuado, que incluso pueda usarse para evaluar otros sectores de la economía santandereana y nacional.

Por ello, en el desarrollo de este proyecto se tiene el objetivo principal de estimar y analizar eficiencia y productividad, para esto se ejecuta un análisis a partir de datos históricos alojados en bases de datos de carácter gubernamental y en las principales asociaciones de tipo agropecuario en el país. Partiendo de los datos accesibles, se emplea una metodología que permita hacer

comparaciones entre los diferentes departamentos del país donde se tiene presencia significativa de cultivos de cítricos, así se puede obtener una estimación de la eficiencia y productividad del sector en Santander respecto a otras regiones de Colombia. El lector puede encontrar en este documento una aproximación inicial al porqué del desarrollo del proyecto, seguido de una introducción y descripción del problema a tratar durante la investigación. Luego, se presenta la revisión de la literatura y antecedentes de proyectos relacionados a la temática, para continuar con los métodos de análisis que se tienen en cuenta a manera de consulta y tomando los necesarios para la ejecución de este proyecto. Finalmente se presentan los resultados del análisis, conclusiones y recomendaciones, así como las referencias bibliográficas utilizadas en el presente documento.

### **Tabla de cumplimiento de objetivos**

A continuación, se detalla el objetivo específico junto a la respectiva sección que detalla su cumplimiento

#### **Tabla 1**

##### *Cumplimiento de objetivos*

<b>Objetivo</b>	<b>Cumplimiento</b>
Identificar variables y metodologías para la evaluación de eficiencia y productividad en el sector agrícola a partir de una revisión de literatura.	Sección: 3. Revisión de la literatura. Tabla 4.
Caracterizar variables de eficiencia y productividad en el sector citrícola del departamento de Santander.	Sección: 4.2.5. Variables

---

Determinar la eficiencia y productividad del sector cítrico en el departamento. Sección: 8. Resultados

---

Elaborar un artículo de carácter publicable con los resultados de la investigación. Apéndice A

---

### **1. Planteamiento del problema**

El desarrollo rural, la tecnificación y la posibilidad de estabilidad económica en el campo han sido un desafío de décadas para las políticas gubernamentales, la academia y el campesinado nacional. La participación de la agricultura colombiana en el PIB ha venido decayendo en las últimas décadas, del 25% en 1965 al 6% en 2019. El desarrollo de otros sectores económicos en el país y la baja productividad del agro ha posibilitado este decaimiento progresivo (Banco Mundial, 2022). Es necesario que el Estado y el sector privado logren crear estrategias para un campo rentable y ofrecer oportunidades a trabajadores, familias campesinas y empresarios del sector. Por ello, en el desarrollo de la competitividad y sostenibilidad del sector cítrico, se plantea un análisis que permita identificar diversas variables de relevancia y comparar niveles de productividad y eficiencia.

En Colombia, de acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) efectuada por el DANE, del total del uso del suelo: 50.102.269 hectáreas, el destinado al uso agrícola apenas es de 4.617.116 hectáreas, lo que representa el 9,2% del total. En la producción por grupos de cultivos, resalta el grupo agroindustrial con 42 millones de toneladas, y los frutales, objeto del presente estudio con 6 millones de toneladas, de las cuales se destinan 2.186.389 hectáreas al grupo agroindustrial y 505.164 hectáreas a frutales, con áreas cosechadas de 1.814.843 y 377.958

hectáreas respectivamente. Sin embargo, grupos de cultivo como cereales, plantaciones forestales, y tubérculos y plátano superan en área sembrada y cosechada pero no en producción en toneladas (DANE, 2019).

Haciendo énfasis en el sector citrícola, el departamento de Santander es el más importante a nivel de siembra y producción, puesto que para el año 2017 contaba con 21.556 hectáreas sembradas, lo que representa 25% del total nacional de cultivos de cítricos. Con 19.068 ha cosechadas, una producción de 306.678 toneladas y un rendimiento de 16,1 toneladas por hectárea; con Lebrija, Rionegro y Girón posicionándose como los municipios líderes a nivel nacional en la producción citrícola (con 14.667 ha sembradas entre ellos) y un porcentaje de participación en producción de fruto fresco que representa el 17,8% del total nacional (Agronet, 2017).

Así, se torna de gran importancia la cuantificación de la productividad en el departamento, caracterizando el sector y determinando variables para efectuar un análisis adecuado de este. De acuerdo con el DANE, 4.032.000 trabajadores conforman el empleo en las zonas rurales de Colombia, lo cual representa el 17% del total de fuerza laboral del país.

Debido a la importancia económica del sector agrícola para el país, es relevante resaltar que el mismo no ha sido favorecido en el manejo de la política agraria, aunque se han realizado sucesivos intentos de reforma por parte de los distintos gobiernos desde el siglo XX, que no se vieron reflejados en la modernización de este, viéndose agravada por fenómenos como conflicto armado, concentración de la tierra y desigualdad. El conjunto de estos y otros factores ha repercutido en una inadecuada distribución de la tierra y falta de formalización que dificultan el adecuado funcionamiento del mercado de tierras y a las inversiones. Limitando el acceso a asociaciones de carácter público-privado, a la seguridad jurídica para inversores y a la tecnificación de los cultivos. Por ello, la formulación y el seguimiento de políticas productivas en

pro de un campo competitivo se posiciona como un objetivo imprescindible para el desarrollo rural. Así, la identificación y evaluación de factores y su repercusión en la eficiencia y productividad del sector, pueden soportar la toma de decisiones de pequeños y medianos agricultores, como la estructuración de políticas de entes gubernamentales de carácter local y nacional.

Como se mencionó previamente, el uso adecuado de la cantidad de hectáreas disponibles para cultivos conlleva a obtener la mayor producción posible bajo las características específicas de tecnificación que se tenga. Conociendo el comportamiento temporal de estos factores que son fundamentales en agricultura (cantidad de suelo y producto cosechado), se intenta dar una estimación del desempeño de medidas de eficiencia y productividad, para observar si se está utilizando de manera adecuada la tierra disponible y se está obteniendo el mayor rendimiento posible.

En el marco del proyecto “Diseño de un laboratorio vivo rural para el fortalecimiento de la competitividad y sostenibilidad del sector cítrico Santander” dentro de cuyo alcance está el desarrollo de estrategias que fortalezcan la competitividad y sostenibilidad del sector, es necesaria una aproximación en términos económicos y productivos que posibilite el desarrollo de este importante componente de la economía santandereana y nacional. Así, mediante la presente investigación, se busca hacer una estimación a nivel económico y productivo de los cultivadores de cítricos en la región, tomando en cuenta la información histórica disponible de Santander, como área sembrada, producción, rendimiento, exportaciones, costos de producción y compararla con la de otros departamentos, utilizando una metodología no paramétrica que permita efectuar este análisis. Ofreciendo una base para evaluar y comparar el sector en diferentes aspectos económicos y productivos; acercando la academia al productor, con análisis de información relevante y que

permita desarrollar estrategias de seguimiento a la productividad del departamento, e incluso servir de referencia para otros subsectores agrícolas.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Evaluar la eficiencia y productividad del sector citrícola del departamento de Santander en el periodo 2016-2020

### **2.2 Objetivos Específicos**

Identificar variables y metodologías para la evaluación de eficiencia y productividad en el sector agrícola a partir de una revisión de literatura.

Caracterizar variables de eficiencia y productividad en el sector citrícola del departamento de Santander.

Determinar la eficiencia y productividad del sector citrícola en el departamento.

Elaborar un artículo de carácter publicable con los resultados de la investigación.

## **3. Revisión de la literatura**

En el presente capítulo se detalla el desarrollo de un análisis bibliométrico para observar tendencias relevantes para la investigación, para luego hacer un análisis previo con el fin de obtener referencias para la sustentación teórica y metodológica de la investigación. Para el análisis de la literatura se toma como referencia la herramienta Scopus, debido a que es de prestigio en cuanto a la bibliografía seleccionada y es proporcionada por la Universidad Industrial de Santander como apoyo en el desarrollo de trabajos de grado.

### 3.1 Análisis bibliométrico

A partir de palabras clave, se realiza una búsqueda preliminar para identificar temáticas relacionadas con la investigación.

**Tabla 2**

*Ecuación preliminar de búsqueda en Scopus*

<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>
TITLE-ABS-KEY (agricultural AND competitiveness OR productivity OR efficiency)	79958

Con el objetivo de acotar la búsqueda, se indaga en busca de tesauros para formular una ecuación adecuada para la investigación. Así, se limita la búsqueda para ejecutar un análisis más aproximado de la literatura.

**Tabla 3**

*Ecuación de búsqueda en Scopus*

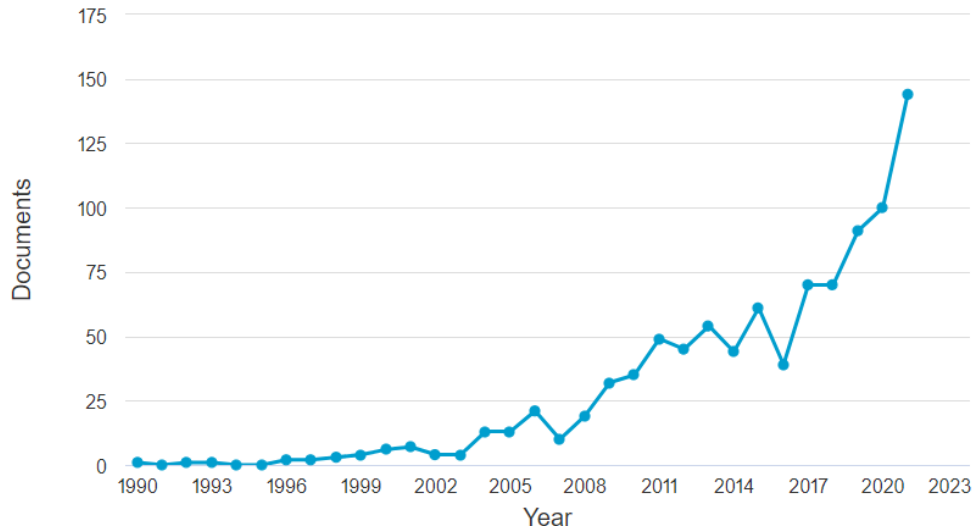
<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>
(TITLE-ABS-KEY (competitiveness) OR TITLE-ABS-KEY (productivity) OR TITLE-ABS-KEY (productiveness) OR TITLE-ABS-KEY (efficiency) AND TITLE-ABS-KEY (agricultural) OR TITLE-ABS-KEY (farming) OR TITLE-ABS-KEY (agronomical) OR TITLE-ABS-KEY (horticultural) AND TITLE-ABS-KEY ("non parametric test*") OR TITLE-ABS-KEY ("data envelopment analysis" ) )	960

En la ecuación de búsqueda final de Scopus se utilizan los tesauros “non parametric test” y “data envelopment analysis” con el objetivo de refinar la búsqueda, puesto que en los métodos para hallar eficiencia y productividad se parte de metodologías no frontera y frontera. Y como indica Rusielik (2021), los índices de TFP son usados con mayor frecuencia para estimar los niveles de productividad y su comportamiento; además, la mayoría de las investigaciones usa metodologías no paramétricas, métodos DEA principalmente. A conveniencia del equipo de investigación, inicialmente se planteó ejecutar el trabajo a partir de pruebas no paramétricas.

Mediante las herramientas de análisis de Scopus, se puede observar el crecimiento a través de los años en las investigaciones referentes al tema tratar (Figura 1).

### Figura 1

*Comportamiento de las publicaciones en Scopus.*



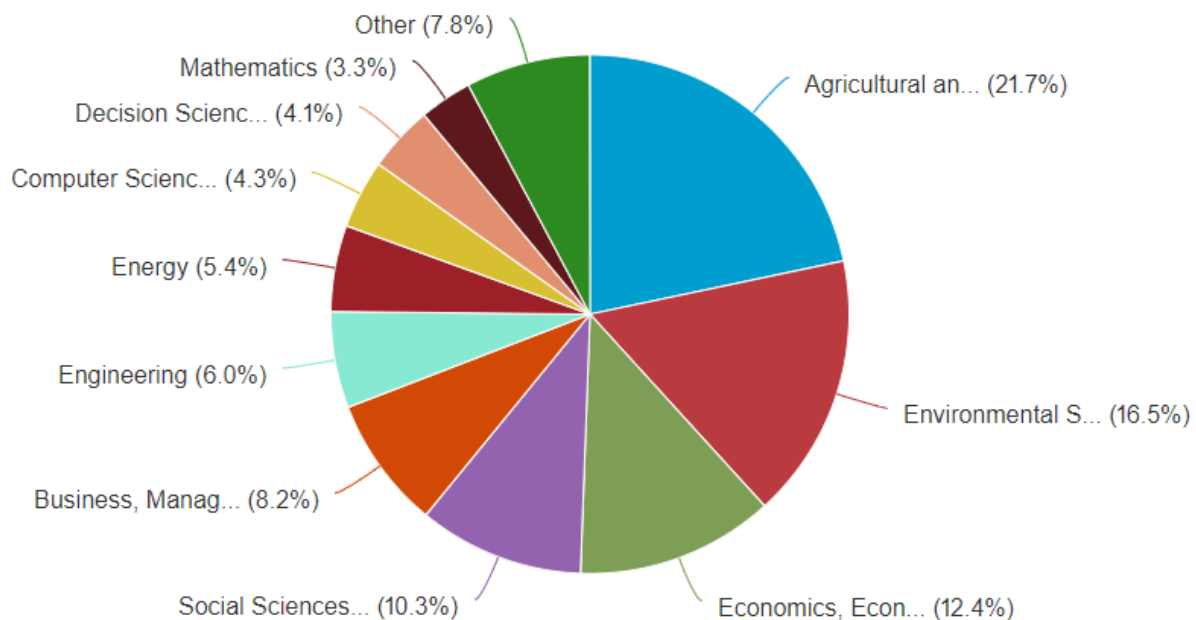
*Nota:* tomado del sitio web de Scopus.

Es claro el incremento en la producción científica acerca del tema a investigar, pasando de 39 documentos en el 2016 a 144 en el 2021, observando una tendencia al alza de investigaciones acerca de temáticas agrícolas. Además, se demuestra la importancia del sector agrícola en

diferentes áreas de investigación (Figura 2), donde las ciencias biológicas y agrícolas representan la mayor fracción, con poco más del 20%, seguida de investigaciones medioambientales y económicas, esta última es objeto de la presente investigación. Y es relevante la diversidad de temáticas de investigación presentes en el agro, debido a la importancia e impacto del sector en la investigación científica y desarrollo económico.

## Figura 2

*Porcentaje de artículos por área de investigación.*



*Nota:* tomado del sitio web de Scopus.

Continuando con la temática agrícola, se puede ver que las dos principales economías del mundo lideran la investigación en este aspecto (Figura 3), con China (205 artículos) casi triplicando el número de documentos publicados por Estados Unidos (77 documentos, seguidos de

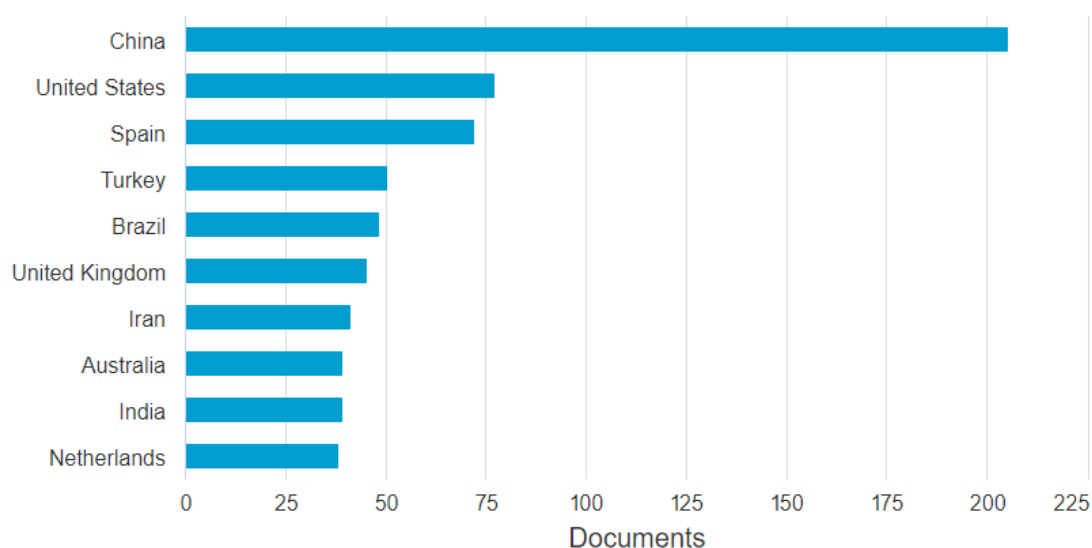
España con 72, Turquía 50 y Brasil 48. Colombia no posee ninguna publicación en la búsqueda ejecutada, resaltando así la necesidad de investigación en el tema.

### Figura 3

#### *Documentos publicados por país*

#### Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

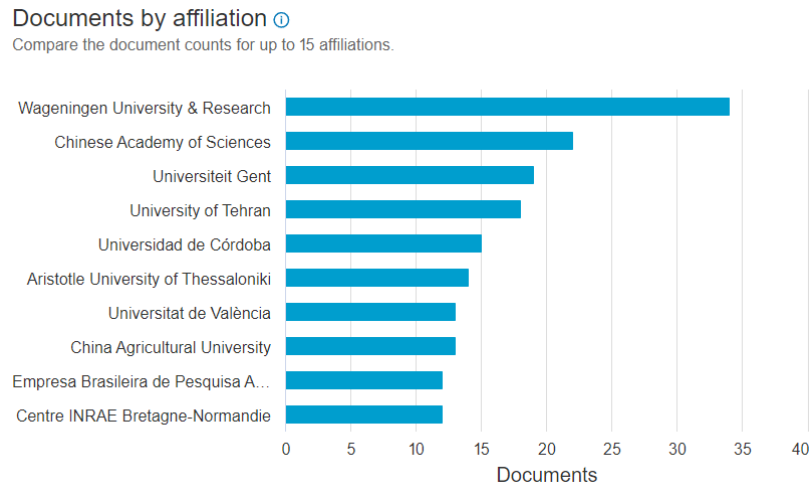


*Nota:* tomado del sitio web de Scopus.

El origen de los documentos principalmente de Wageningen University & Research, Países Bajos, 34 artículos, también de la Chinese Academy of Sciences con 22, observando así la relevancia de la investigación en este país asiático y de Universiteit Ghent, ubicada en Bélgica con 19 publicaciones. Y se puede observar solamente hay una corporación Sudamericana en el top 10, la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária con 12 documentos, la cual está adscrita el Gobierno brasileño, mostrando la importancia que debería tener el agro a nivel gubernamental (Figura 4).

**Figura 4**

*Principales entidades origen de las publicaciones.*

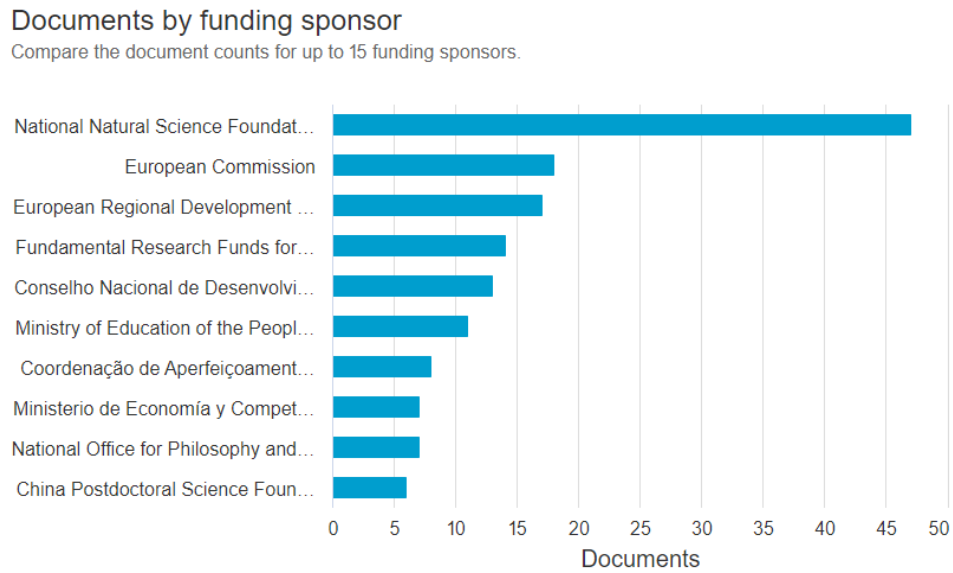


*Nota:* tomado del sitio web de Scopus

Por otro lado, en la Figura 5, la National Natural Science Foundation of China, es la principal proveedora de fondos para la investigación con 47 publicaciones, junto con la Comisión Europea con 18 documentos, reafirmando a China como el primer país en este tipo de estudios.

**Figura 5**

*Principales patrocinadores de las publicaciones.*



*Nota:* tomado del sitio web de Scopus

**Figura 6**

*Nube de correlaciones relevantes con autores en la temática a investigar*



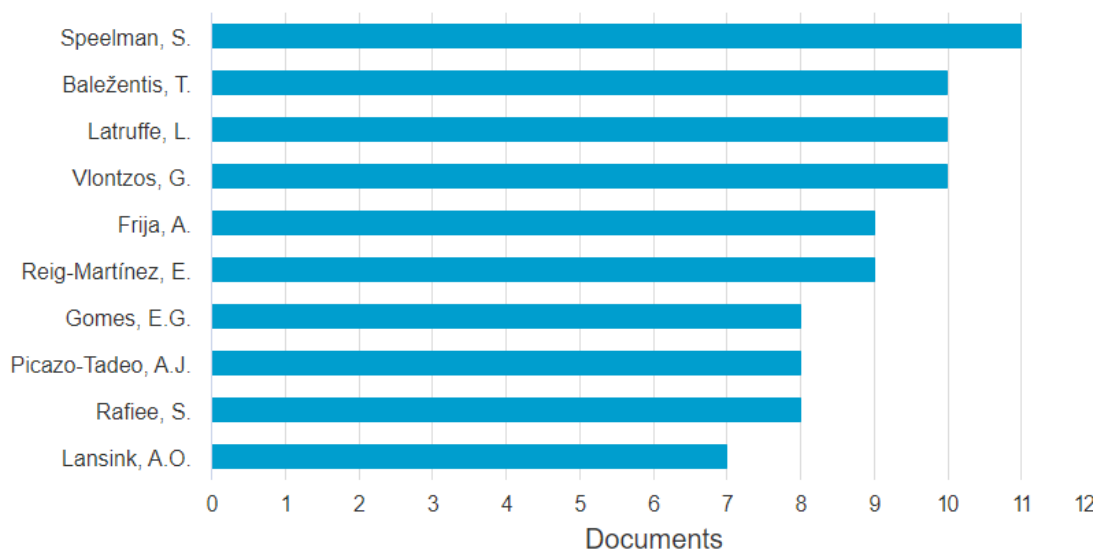
*Nota:* adaptado del software Vosviewer

**Figura 7**

*Autores con mayor número de documentos publicados*

**Documents by author**

Compare the document counts for up to 15 authors.

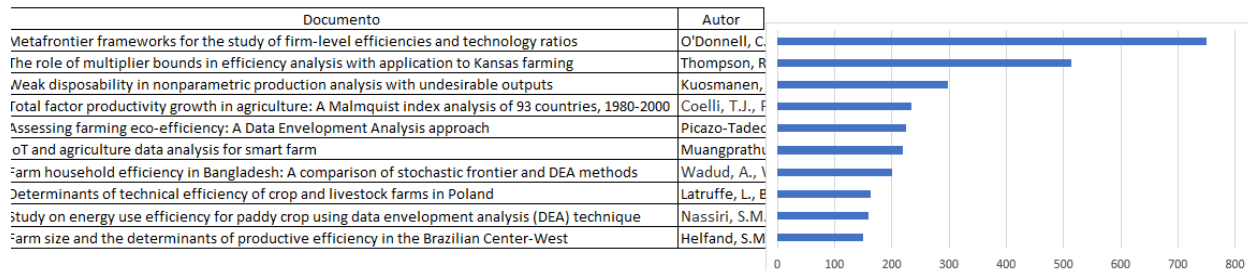


*Nota:* tomado del sitio web de Scopus

En cuanto a los autores más representativos, se puede observar que, debido a la cantidad tan variada de temáticas, no existen relaciones relevantes entre ellos, Figura 6, presentándose dispersión en los datos tomados en cuenta. Sin embargo, en la Figura 7, se pueden observar los autores con mayor número de publicaciones, resaltando Speelman, Baležentis y Latruffe con 11, 10 y 10 publicaciones respectivamente.

**Figura 8**

*Documentos más citados*



Nota: tomado del sitio web de Scopus.

Asimismo, los artículos más citados en la recopilación hecha: “*Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios*” de O'Donnell, C.J., Rao, D.S.P., Battese, G.E. con 750 citas, “*The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming*” Thompson, R.G., Langemeier, L.N., Lee, C.-T., Lee, E., Thrall, R.M. con 513 y “*Weak disposability in nonparametric production analysis with undesirable outputs*” de Kuosmanen, T. con 298 menciones (Figura 8).

Debido a la amplitud de áreas del conocimiento inmersas en la ecuación de búsqueda, mediante la nube de palabras clave, en la Figura 9, se puede visualizar la diversidad de relaciones inmersas en el tema a tratar, como temáticas relacionadas para comprender de una manera más completa los términos asociados y su nivel de correlación, facilitando así la base teórica de la investigación.



### 3.2 Análisis de la literatura

Puesto que la ecuación de búsqueda arroja 960 resultados, se tienen en cuenta los resultados más citados. En “*Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios*” (O'Donnell et al., 2008), los autores definen el término de metafrontera y lo desarrollan con el objetivo de estimar diferencias de eficiencias entre grupos de empresas. Las fronteras se estiman utilizando las metodologías DEA (análisis envolvente de datos) y SFA (análisis de frontera estocástica). Para el caso de DEA, metodología no paramétrica, los modelos más comunes son dos: uno orientado a los insumos y otro al producto. Cuando está orientado a los insumos, se mantienen constantes los niveles de producción con el objetivo de reducir al máximo los insumos. Y para el caso de producto, se mantienen constantes los insumos, para maximizar los productos. La metodología SFA se basa en parametrizar la frontera y hacer una estimación utilizando la técnica de econometría. De igual manera, Wadud & White (2000), aplican estas metodologías (DEA y SFA) para calcular la eficiencia técnica de los productores de arroz en Bangladesh, haciendo uso de factores socioeconómicos, ambientales y de infraestructura de riego, encontrando similitudes en los resultados de aplicación de las dos metodologías. Los autores sugieren que los programas de electrificación en las zonas de producción son críticos en la reducción de ineficiencias técnicas en la producción de arroz.

Latruffe et al. (2004) analizan el comportamiento de la eficiencia en las granjas ganaderas y agrícolas en Polonia durante el año 2000, utilizando SFA y comparando estos resultados con un estudio previo, cuyos resultados se obtuvieron mediante DEA. Algunos hallazgos mostraron que las granjas ganaderas eran más técnicamente eficientes que las agrícolas, que existía una relación proporcional directa entre extensión de tierra y eficiencia. Es decir, que a mayor extensión mayor era la eficiencia. Los autores resaltan que la calidad del suelo y la integración con el mercado son

importantes para la eficiencia. Así, las políticas públicas encaminadas a incrementar el tamaño de las explotaciones agropecuarias podrían ser relevantes en el aumento de la eficiencia. En este caso, el fortalecimiento del mercado de tierras para arrendamiento o compra se tornaba fundamental en la modernización del agro polaco. Helfand y Levine (2004), muestran que la relación extensión de tierra con eficiencia es más compleja, puesto que en su investigación en granjas de la región centro-oeste de Brasil encuentran que esta relación no es lineal, esta zona se caracteriza por granjas relativamente grandes y consideran que la tenencia de la tierra, el acceso a instituciones, mercados e insumos modernos son determinantes importantes de las diferencias en la eficiencia en las explotaciones agrícolas.

Thompson et al. (1990), consideran que en el cálculo de la eficiencia es necesario tener en cuenta factores no solamente técnicos, sino también económicos. Los autores desarrollan el concepto de AR o Región de Garantía (Assurance Region), la cual consiste en agregar restricciones adicionales a los multiplicadores usualmente utilizados en la metodología DEA, partiendo de granjas técnicamente eficientes y reduciendo el número de candidatas para la eficiencia general mediante la aplicación de AR.

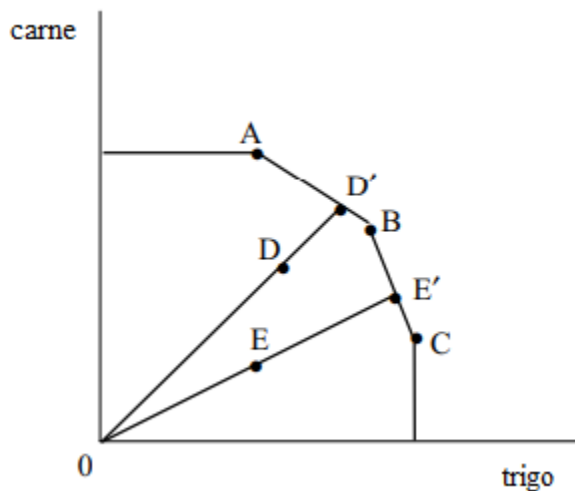
Coelli et al., (2005) analizan la tendencia de crecimiento en la productividad agrícola en 93 países, entre los años 1980-2000, para ello, utilizan el índice de Malmquist para calcular la Productividad Total de los Factores (TFP) y el Análisis Envolvente de Datos (DEA), para construir una frontera de producción lineal. Los autores definen DEA como un método de programación lineal, donde se utilizan cantidades de insumos y productos para estimar una frontera, la cual se construye mediante la resolución de una serie de problemas de programación lineal, uno para cada país en este caso, obteniéndose un grado de ineficiencia técnica (distancia entre el punto de datos observado y la frontera) como subproducto del cálculo de la frontera. Además, la metodología

DEA a utilizar es orientada a los productos puesto que en agricultura se intenta obtener la máxima producción a partir de una determinada cantidad de insumos. El índice de Malmquist está definido mediante funciones de distancia, estas describen una tecnología de producción basada en múltiples insumos y productos.

Los autores ejemplifican el DEA mediante un caso donde 5 países (A, B, C, D, E) producen trigo y carne, se asume que cada uno posee vectores iguales de entrada, en esta situación los países A, B y C son países eficientes porque definen la frontera, D y E son técnicamente ineficientes, como lo indica la Figura 10.

### Figura 10

*DEA con orientación a la salida*



*Nota:* tomado y adaptado de Coelli, T. J., & Rao, D. S. P. (2005). Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980-2000.

El método de Análisis Envoltente de Datos tiene una reconocida ventaja en el hecho de que no se trabaja sobre hipótesis previas referentes a una relación específica entre insumo y producto, en cambio, se construye una frontera a trozos de manera empírica sobre entradas y

salidas de una muestra de unidades de toma de decisión (DMU: decision making unit), como reseñan Picazo-Tadeo et al. (2011), quienes señalan que esta metodología ha evolucionado de evaluar el rendimiento de productos comercializables y recursos convencionales de producción a incluir incluso residuos ambientalmente no deseados, desechos o contaminantes, remarcando la adaptabilidad del modelo.

Muangprathub et al. (2019), hacen uso de la monitorización de diferentes variables directamente en campo, como humedad y temperatura, y con el volumen de datos obtenidos a partir del monitoreo, hacen uso de la minería de datos junto a una aplicación web/móvil para facilitar y fundamentar la toma de decisiones dependiendo del cultivo.

La eficiencia técnica, la pura y la de escala son el objeto de estudio de Nassiri et al. (2009), en su investigación acerca de la eficiencia energética en el cultivo de arroz en India. Las eficiencias se hallaron mediante los métodos CCR (Charnes, Cooper y Rhodes 1978) y BCC (Banker, Charnes y Cooper, 1984).

Para la evaluación de eficiencia, se busca un indicador orientado a los insumos o al producto. En el caso de escoger el modelo orientado a los insumos, se trata de determinar si estos son utilizados de la manera adecuada para lograr los productos, observando el posible grado de mejora que podría tener el sector en estudio. Para el caso del modelo orientado a producto, manteniendo constante el nivel de insumos, intentando obtener la mayor cantidad de producto.

A partir de los postulados de Farrell (1957), los métodos de frontera se desarrollaron hacia diversas aplicaciones en todo tipo de industrias, siendo la base el Análisis Envoltente de Datos (DEA), propuesto por Charnes et al. (1978) mediante el uso de datos observacionales con el objetivo de encontrar un indicador válido de eficiencia.

En lo que respecta al sector agrícola, diferentes estudios basan su análisis de eficiencia en la metodología DEA, Heidari et al.(2012), realizan estimaciones de eficiencia del uso de la energía en un cultivo de pepino en invernadero en Irán, Dios-Palomares et al. (2015) analizan la eficiencia medioambiental ligada a factores agrícolas mediante ajustes para tener en cuenta los efectos que son consecuencia del cambio climático y los impactos a nivel de sostenibilidad.

Al utilizar una metodología cuya principal virtud es la adaptación a los parámetros locales, variables como costos, subsidios y políticas pueden ser incluidas en esta estimación de múltiples factores, como ejemplo la investigación de la influencia de ciertas políticas económicas chinas en la eficiencia técnica: PSE (EAP-Estimado de apoyo al productor) y GSSE (EASG-Estimado de apoyo de servicios generales)(Zheng, 2014), indicadores desarrollados por la OCDE como mediciones de apoyo o subsidio económico al productor, los cuales pueden incluirse en un estudio de este tipo, que para este caso se cuantificaron junto a fertilizantes (toneladas), número de trabajadores, área plantada (hectáreas), maquinaria (medida en kilowatts) en los insumos, utilizando como productos dos indicadores establecidos por China: renta per cápita de productores (RMB) y total en toneladas producidas (Tang et al., 2017).

Una muestra más de la evolución de los modelos DEA la presenta Peñaloza (2004), en el contexto local, evaluando la eficiencia en instalaciones de salud de carácter público y privado. Allí la autora resalta ventajas como el tipo de variables que es posible utilizar, porque pueden ser ordinales, continuas o categóricas. A las que no se les asigna un peso por la naturaleza no paramétrica. También la comparación entre variables dependientes dando un resultado de la “mejor práctica”; y las holguras resultantes de las ineficiencias según los recursos disponibles. Sin embargo, hace énfasis en las desventajas de DEA. Al ser un método no paramétrico, no posee un índice para señalar el nivel de error, por lo cual no es recomendable en pruebas de hipótesis. El

número de DMU es importante a la hora de aplicarlo, donde el ejecutor del análisis puede ajustarlo según criterio propio. El método no ofrece un valor óptimo como en un problema clásico de programación lineal, lo cual puede terminar en una ineficiencia de todos los recursos evaluados. Por último, el número de inputs y outputs también quedan en consideración, pero el uso de muchas variables se califica como erróneo metodológicamente. Para finalizar, recalca la utilización de alguna herramienta complementaria a las limitaciones del método, obteniendo diferentes perspectivas de la “mejor práctica” calculada.

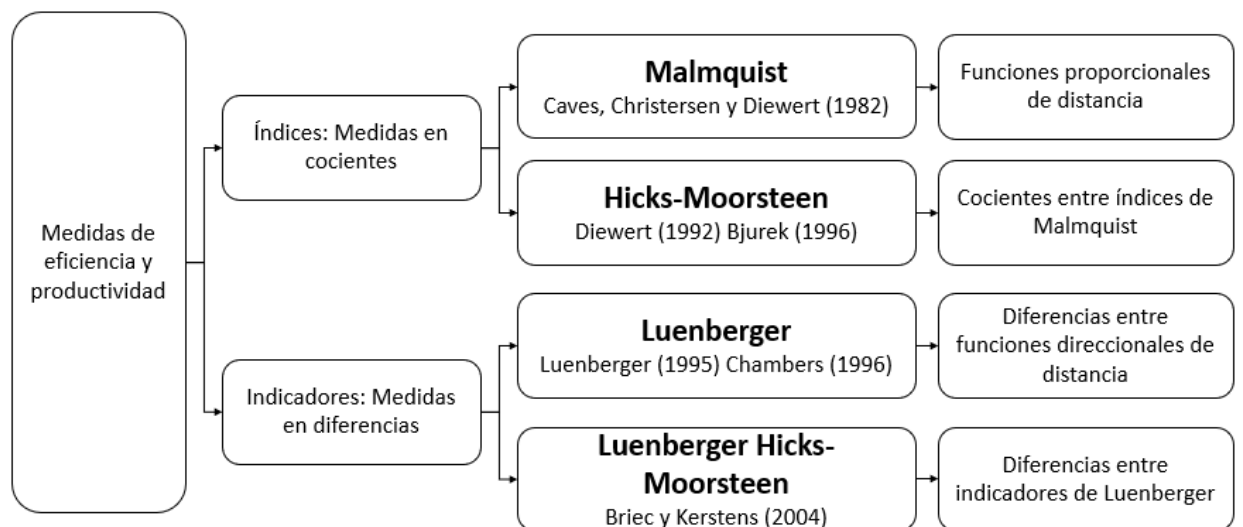
Debido a esta versatilidad y a la dependencia de esta investigación de datos recopilados por fuentes secundarias, en este caso por instituciones como corporaciones oficiales o estatales junto a gremios o asociaciones dedicadas al seguimiento de la producción agropecuaria, la metodología DEA es viable puesto que se puede adaptar a los datos que han sido relevantes y recopilados por estas instituciones.

Para la medición de productividad de las unidades de toma de decisión, se pueden tomar en cuenta dos enfoques principales orientados como retoman Pumisacho & Alvarado, (2018), en la evaluación de eficiencia y productividad de PYMES, utilizando DEA e índice Malmquist, este último para establecer la estimación de productividad, tomando esta como la relación entre la producción y los factores iniciales que la propician, con enfoques a la productividad parcial (PP) o a la productividad total de los factores (TFP), donde la primera hace referencia a los cambios en el producto a partir de factores productivos de manera individual, mientras que en la TFP se miden los cambios en la producción total a partir de la interacción de todos los factores inmersos en el análisis. La TFP se define como un cociente de funciones que representan los productos y los insumos en los procesos productivos (Diewert & Nakamura, 2005), contabilizando las mejoras en eficiencia y en el proceso productivo como tal a lo largo del tiempo.

Por otro lado, a partir del índice Malmquist (IM), se desarrolla el Índice Hicks-Moorsteen (IHM) orientado a insumos y productos mostrando la variación en el índice de productividad permitiendo identificar el cambio en insumos y productos (Perera Fonseca, 2018). El IHM es desarrollado a profundidad en las investigaciones de O'Donnell (2008, 2010) donde descompone de manera exhaustiva este índice, a partir de índices de Productividad Total de los Factores (TFP). Para el caso de productividad analizada desde TFP, existen dos clasificaciones principales, las cuales dependen de las funciones de distancia de Shepard (1953). En la figura siguiente se muestra esa clasificación, adaptada por Xirinachis (2012), a partir de la clasificación de Ferro y Romero (2011).

**Figura 11**

*Medidas de eficiencia y productividad*



*Nota:* Tomado de Xirinachs (2012), a partir de Perera (2018).

A continuación, se presentan las metodologías y variables identificadas en la revisión de literatura.

**Tabla 4***Metodologías y variables identificadas en la revisión de literatura*

<b>Metodología</b>	<b>Variables utilizadas</b>	<b>Autores</b>
Análisis Envolvente de Datos (DEA) y Análisis de Frontera Estocástica (SFA)	Extensión de tierra, maquinaria, mano de obra, fertilizantes, ganado y un agregado de 185 commodities agrícolas.	O'Donnell, Rao & Battese (2008)
Análisis Envolvente de Datos (DEA)	Costos de insumos utilizados, extensión de tierra, horas de trabajo, depreciación de activos, cantidades de trigo, maíz y soya producidas.	Thompson et al. (1990)
Análisis Envolvente de Datos (DEA) e Índice Malmquist	Extensión de tierra, tractores, mano de obra, fertilizantes, ganado, área de irrigación y cantidades agregadas de 185 commodities agrícolas.	Coelli & Rao (2005)
Análisis Envolvente de Datos (DEA)	Cantidad de euros de: ventas, subsidios, semillas, nitrógeno, fósforo, pesticidas y energía	Picazo-Tadeo, Gómez-Limón & Reig-Martínez (2011)
Análisis Envolvente de Datos (DEA) y Análisis de Frontera Estocástica (SFA)	Valor monetario de: ganancias, tierra, trabajo, irrigación, fertilizantes y pesticidas. Además de edad del agricultor, grado de escolaridad y acres de tierra.	Wadud & White (2000)
Análisis Envolvente de Datos (DEA) y Análisis de Frontera Estocástica (SFA)	Área agrícola, mano de obra, depreciación más intereses (medida de capital), consumo intermedio y el total monetario de los productos.	Latruffe et al. (2004)
Análisis Envolvente de Datos (DEA)	Medidas de conversión a energía de: trabajo de hombre y mujer, animales, diésel, electricidad, maquinaria, fertilizantes químicos, semilla producida y consumida, paja.	Nassiri & Singh (2009)
Análisis Envolvente de Datos (DEA)	Área utilizada, mano de obra, tractores, animales, insumos comprados (fertilizantes, químicos, alimento y medicina para animales, combustible) y la producción agrícola totalizada.	Helfand & Levine (2004)
Análisis Envolvente de Datos (DEA)	Diésel, agua, fertilizantes, pesticidas, hormigón para infraestructuras y uvas comerciales.	Vázquez-Rowe et al. (2012)
Análisis Envolvente de Datos (DEA)	Consumo de energía y capital en millones de euros, mano de obra,	Vlontzos, Niavis & Manos (2014).

	emisiones de dióxido de carbono, toneladas de nutrientes (nitrógeno, fósforo), producción en millones de euros.	
Modelo SBM-DEA, basado en la holgura y Análisis Envoltente de Datos	Cantidad de mano de obra, capital monetario, volumen de agua, PIB y cantidad de aguas residuales.	Deng, Li, & Song (2016).
Análisis Envoltente de Datos (DEA) e índice de Hicks-Moorsteen	Extensión de tierra, mano de obra, ganado, tractores, fertilizantes, producción de: cultivos y animales.	O'Donnell (2010).
Análisis Envoltente de Datos (DEA) e índice de Malmquist	Mano de obra, área cultivada, animales de arado, consumo energético de maquinaria y valor agregado bruto de agricultura.	Chen et al. (2008).
Evaluación del Ciclo de Vida y Análisis Envoltente de Datos (DEA)	Cantidad de: mano de obra, maquinaria, diésel, fertilizantes y químicos, estiércol, volumen de agua, electricidad, semillas, producción de soya.	Mohammadi et al. (2013).
Análisis Envoltente de Datos (DEA)	Número de granjas y campos, cantidad de Nitrógeno en suelo, fertilizante, producto y excedente, herbicidas, impacto ambiental de herbicidas, rendimiento del azúcar y rendimiento sobre costos operativos.	De Koeijer et al. (2002).
Análisis Envoltente de Datos (DEA)	Ingresos netos, erosión, riesgo de pesticidas, cantidad de agua y variables adimensionales: biodiversidad, proporción de Nitrógeno y proporción de energía	Gómez-Limón, Picazo-Tadeo, & Reig-Martínez (2012)
Análisis Envoltente de Datos (DEA)	Medidas de conversión a energía de: mano de obra, maquinaria, combustible, químicos (herbicidas, fungicidas, insecticidas), fertilizantes, agua, electricidad, semillas y canola.	Mousavi-Avval et al. (2011)
Análisis Envoltente de Datos (DEA)	Producción de leche, número de vacas, área de pastoreo, agua, alimentos suplementarios, fertilizante y horas de mano de obra.	Fraser & Cordina (1999)
Análisis Envoltente de Datos (DEA)	Edad y años de formación del granjero, género, mano de obra familiar, actitud de riesgo, rendimiento de producción de arroz, extensión de tierra, semillas, horas de mano de obra, costos de: maquinaria, fertilizante, renta de tierra, semillas, salarios y otros costos.	Dhungana, Nuthall, & Nartea (2004)

Análisis Envolvente de Datos (DEA)	Producción en unidad monetaria, extensión de tierra, volumen de agua, días de trabajo, gastos de pesticidas y fertilizantes.	Speelman et al. (2008)
------------------------------------	--	------------------------

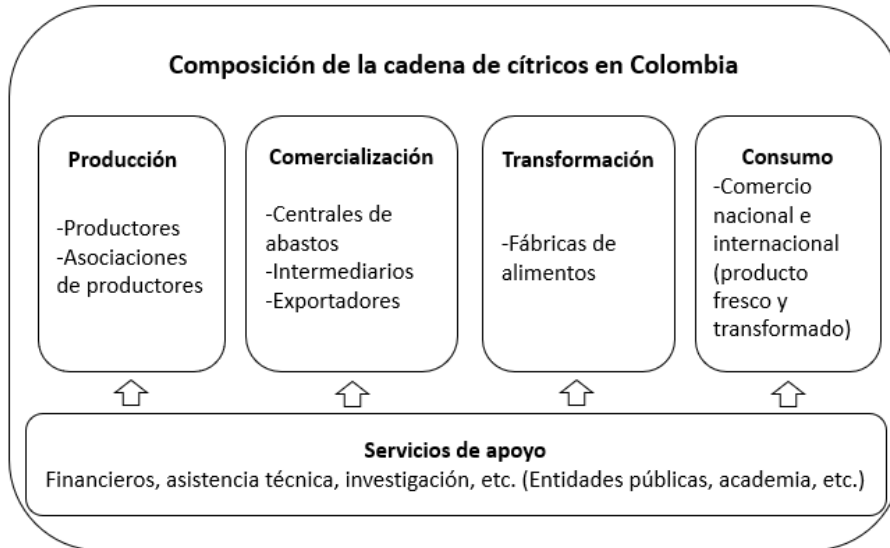
En general, el Análisis Envolvente de Datos (DEA), una variación de este, el Análisis de Frontera Estocástica (SFA), el índice de Malmquist y el índice de Hicks-Moorsteen fueron las principales metodologías encontradas para la evaluación de la eficiencia y productividad. Desde la metodología DEA se desprenden los índices de Malmquist y Hicks-Moorsteen, y hacen parte de la subdivisión entre índices e indicadores de la Figura 11, orientados a la medición del comportamiento de la productividad y eficiencia en el tiempo. En cuanto a las variables, para la medición de la productividad y la eficiencia se requieren insumos y productos. Donde en el sector agropecuario se caracteriza por requerir extensiones de tierra destinadas a cultivos o pastoreo. Además de variables orientadas a la cantidad de mano de obra, semillas, agua, maquinaria, fertilizantes, o bien sus equivalencias en valor monetario, como se observa en la mayoría de los autores de la Tabla 4. Algunas investigaciones como las de Dhungana, Nuthall, & Nartea (2004) o Speelman et al. (2008) utilizan variables socioeconómicas como la edad y formación de los granjeros puesto que se orientan a estudios de granjas familiares, y Mousavi-Avval et al. (2011) o Nassiri & Singh (2009) evalúan las variables a partir de equivalencias a medidas de energía (julios), ya que su análisis se centra en la eficiencia del uso energético de los recursos.

### ***3.2.1 Caracterización del sector cítrico en Colombia***

A continuación, se caracteriza la cadena de cítricos en Colombia (Figura 12) y la división de zonas de producción (Figura 13). También se detalla la importancia del cultivo de los cítricos en el departamento de Santander.

**Figura 12**

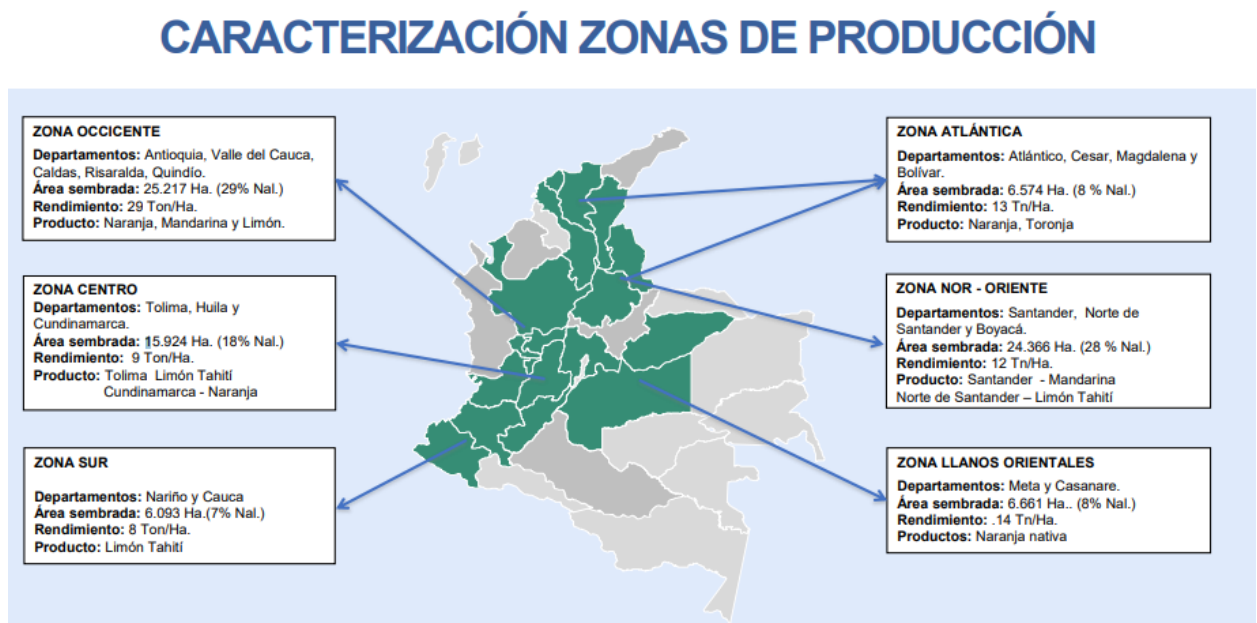
*Composición de la cadena de cítricos en Colombia*



*Nota:* tomado de Cadena de cítricos indicadores e instrumentos, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019).

**Figura 13**

*Caracterización de zonas de producción*



*Nota:* tomado de Cadena de cítricos indicadores e instrumentos, MADR (2021).

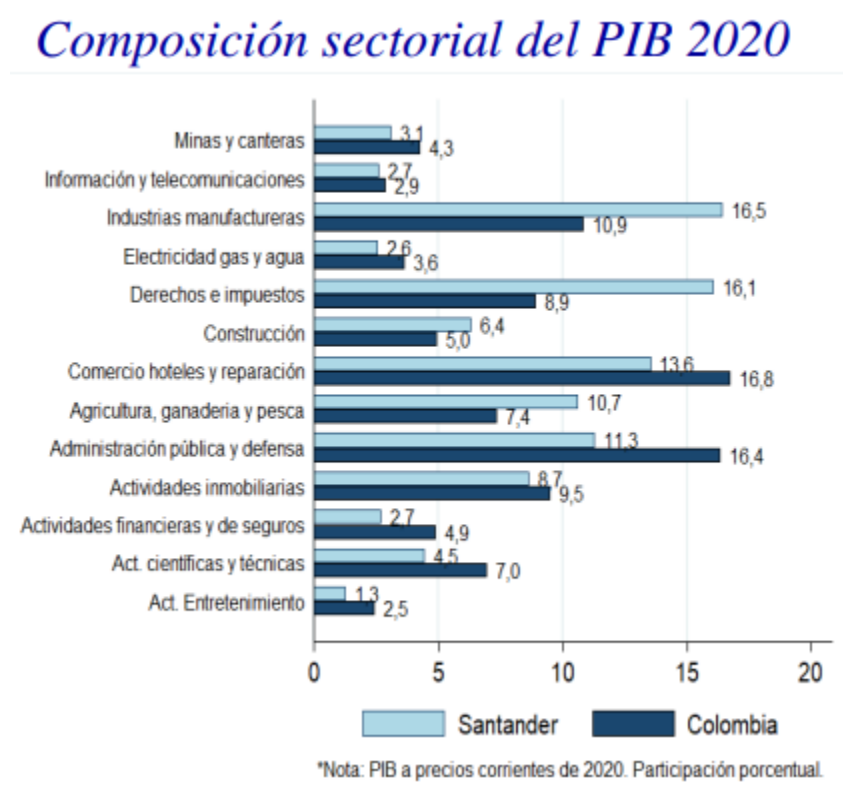
Así, de acuerdo con cifras publicadas por el Ministerio de Agricultura (2021), Santander se posiciona como el departamento líder en área sembrada y producción en este rubro de la agricultura con más de 18 mil hectáreas en los últimos años y 300 mil toneladas de cítricos respectivamente, sin embargo, su rendimiento por hectárea, alrededor de 15, dista del alcanzado por otros departamentos como Caldas con 24, Valle del Cauca con 21, Antioquia con 18, Meta con 18 y Quindío con 25 ton/ha. Cabe resaltar que ninguno de los departamentos anteriormente mencionados llega siquiera al 50% de área sembrada individualmente. No obstante, las cifras alcanzadas por Santander indican la existencia de factores por los cuales no se alcanza un rendimiento mayor. Por ello, inicialmente se indaga en ciertas características para la justificación de este contexto. Una cifra, recogida en el mismo informe del ministerio afirma que existe una gran brecha en el nivel de formalización empresarial entre los departamentos productores, donde grandes productores del núcleo de Occidente (Antioquia, Valle, Caldas, Risaralda y Quindío) poseen alrededor de 600 hectáreas y los pequeños se consideran de 20 ha., en contraposición con las 10 hectáreas y una ha., para grandes y pequeños productores del núcleo Nororiente (Santander, Norte de Santander y Boyacá).

Según el informe de la Oficina de Estudios Económicos del Mincomercio: Perfiles Económicos Departamentales, publicado en abril de 2022, Santander posee una participación del 6,21% en el PIB nacional (2020), el sector de agricultura, ganadería y pesca representa el 10,7%, donde el mayor representante son las industrias manufactureras con el 16,5% (Figura 14). Se recogen los cultivos permanentes y transitorios en una estructura agrícola (Figura 15), la piña (23,2% de participación) y la yuca (24,6%) son sus mayores representantes respectivamente. Los cultivos objetivo de este proyecto, correspondientes a cítricos, se registran dentro de los permanentes, mandarina con el 6,2%, naranja con 4,3 % y limón con el 4,2%, para un total de

14,7%; ubicándose en conjunto como el tercer cultivo permanente en proporción, luego de la piña (23,2%) y la palma de aceite (21%). En cuanto a exportaciones de productos, los relacionados a minero-energético con el 42% y agropecuario con 31,7% lideran el aporte al comercio internacional por parte del departamento, como lo muestra la Figura 16.

### Figura 14

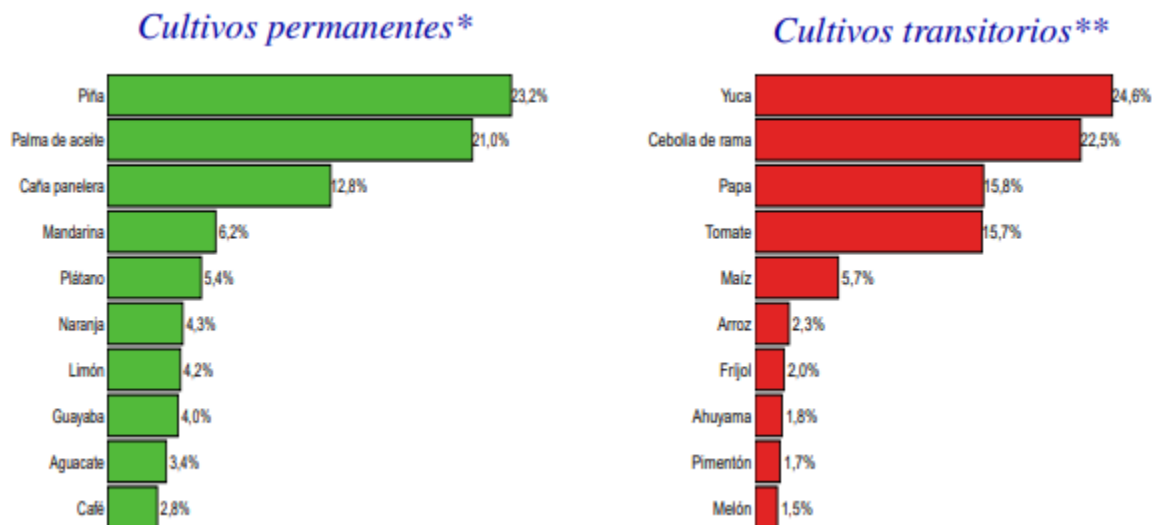
*Composición sectorial del PIB 2020*



*Nota:* Tomado de Perfiles Económicos Departamentales, abril de 2022.

**Figura 15**

Porcentaje de cultivos permanentes y transitorios en Colombia en 2020.



Nota: Tomado de Perfiles Económicos Departamentales, abril de 2022.

**Figura 16**

Exportaciones colombianas por grupo de producto en miles de dólares

### Exportaciones por grupo de producto

VI	Año completo				Año acumulado*			
	2020	2021	Var. % 21	Part. % 2021	2021	2022	Var. % 22	Part. % 2022
Total	510.946	838.867	64,2	100,0	92.784	186.673	101,2	100,0
Mínero - energético	214.637	398.700	85,8	47,5	32.780	110.844	238,1	59,4
No Mínero - energético	296.309	440.167	48,5	52,5	60.004	75.829	26,4	40,6
Agropecuario	162.084	299.816	85,0	35,7	40.220	56.399	40,2	30,2
Maquinaria y equipo	51.499	43.731	-15,1	5,2	9.405	6.853	-27,1	3,7
Industria Liviana	21.472	39.000	81,6	4,6	4.385	4.660	6,3	2,5
Agroindustrial	43.554	37.514	-13,9	4,5	3.922	5.014	27,8	2,7
Industria básica	16.853	18.076	7,3	2,1	1.948	2.432	24,8	1,3
Industria automotriz	795	1.980	149,1	0,2	108	471	336,1	0,2
Demás productos	52	50	-3,8	0,0	16	0	-100,0	0,0

Nota: Tomado de Perfiles Económicos Departamentales, abril de 2022.

Los cultivos de cítricos y en general, el sector agrícola, enfrentan problemáticas de carácter externo como el alza en el precio de fertilizantes e insumos, también existe preocupación a nivel nacional debido a la enfermedad conocida como Huanglongbing (HLB), transmitida por el insecto vector *Diaphorina citri* y que ya fue detectada en Colombia, al ser una enfermedad que no tiene

cura, la solución está encaminada a mantener el control de la población del insecto transmisor (Agrosavia, 2021). Esta enfermedad es la mayor preocupación del sector citrícola, puesto que en la última década se detectó por primera vez en el departamento de La Guajira en el año 2015, para luego extenderse y ser identificada en 5 departamentos más: Atlántico, Magdalena, Cesar, Bolívar, y Norte de Santander. También se suman problemáticas inherentes de carácter externo al agricultor, que afectan de manera negativa la competitividad en este y otros cultivos, como fluctuaciones en la demanda, la intermediación en el proceso de venta y la competencia

En el Plan departamental de extensión agropecuaria 2020-2023, publicado por la gobernación de Santander, se encuentran caracterizadas diversas cadenas productivas, donde los cultivos de cítricos se encuentran priorizados como cadena, donde el reto de la misma es fomentar la asociatividad y definir canales de comercialización para mejorar los ingresos del productor, planteando como estrategia en productividad la capacitación en el desarrollo de actividades técnico-productivas en la postcosecha, cubriendo en este proceso a 500 productores. En cuanto a competitividad, en esta plantean como meta el vincular a 500 productores a esquemas asociativos. Además, se busca hacer un acompañamiento al productor en el establecimiento de canales de comercialización y capacitar a productores en las TIC para integrarlas en algún eslabón de la cadena productiva.

## **4. Marco Referencial**

### **4.1 Marco de antecedentes**

En el artículo “Los cítricos en México: análisis de eficiencia técnica”, las autoras Valencia y Duana, (2019) estiman la eficiencia de estos productos mediante la discriminación en limones, mandarinas, naranjas y toronjas, utilizando cuatro variables: superficie sembrada, jornales,

tecnología utilizada y exportación de productos. Las investigadoras resaltan la importancia de México en la exportación de limón, siendo el segundo a nivel mundial y el tercer productor de toronja. Además, su cercanía con el mercado estadounidense ubica al país con grandes perspectivas de crecimiento. La metodología para estimar la eficiencia se basa en Análisis de Envolvente de Datos, con dos enfoques diferenciados: donde en un primer enfoque que minimiza el input, manteniendo constante el output. En el segundo enfoque se busca la obtención del máximo output manteniendo los inputs constantes.

Así, toman las evaluaciones de las DMU en dos fases para determinar si es eficiente o no; finalmente observan que la mano de obra, superficie y la tecnología con la que cuentan los productores mexicanos restringen a la mayoría de los productores. En cuanto a la separación por producto, tanto las naranjas como los limones presentan grado de eficiencia sin importar la variable analizada, mientras que la toronja y mandarina poseen holgura de mejora y oportunidad.

Por otra parte, en la tesis para optar a magíster en gestión y políticas públicas, Perera (2018), ejecuta un análisis de eficiencia y productividad, tomando como base DEA y el Índice de Hicks Moorsteen (cociente entre índices de Malmquist, cuya orientación puede ser a insumos o producto), entre los años 2011 y 2016, donde retoma el análisis para maximizar el producto del sistema hospitalario en Costa Rica, mientras ofrece sugerencias respecto a las políticas públicas y la importancia de la medición constante de estas debido al carácter público de los recursos. Específicamente sobre 20 unidades hospitalarias de segundo nivel, donde utiliza variables producto como egresos ajustados, ocupación promedio y el inverso índice de mortalidad ajustado (inverso del cociente entre el número de muertes observadas en un hospital y el número de muertes esperadas), modelando DEA a las características particulares del objeto de estudio, y variables insumo como camas disponibles y el gasto en hospitalización. A partir de las holguras, y

combinando estas con políticas públicas bien dirigidas, se podría maximizar el output de algunos hospitales que mostraron ineficiencia.

En otro enfoque, Povedo, Arango y Pinzón (2018), mediante la investigación de eficiencia técnica en el cultivo de la papa en Boyacá, miden la eficiencia técnica en 2 cosechas de papa y los factores relacionados al cultivo en 56 municipios de ese departamento, utilizan DEA para la estimación, tomando variables insumo referentes a características de suelo, clima, precipitaciones, cantidad y concentración de ciertos elementos en el suelo. Utilizando como productos el rendimiento en toneladas por hectárea, su cuadrado y la combinación de las dos anteriores. Para observar el impacto de las diferentes variables en las medidas de eficiencia. Asimismo, determinar si alguna de ellas no tuvo relevancia en el momento del análisis, puesto que el pH del suelo, el área sembrada, la altitud y la temperatura fueron las más importantes al momento de concluir.

Tomando los referentes previos, se puede observar que el Análisis Envolvente de Datos es una metodología que aún se utiliza en diferentes tipos de investigaciones recientes y diversidad de áreas e industrias. La selección adecuada de las variables es importante porque permite profundizar en las causas de las ineficiencias, con el objetivo de ofrecer ciertas soluciones u orientar acciones en la toma de decisiones.

## **4.2 Marco teórico**

### ***4.2.1 Eficiencia y productividad***

Farrell (1957) define la productividad de una unidad como la relación entre los productos que se obtienen a partir de los recursos empleados para su producción. Para el caso básico de un recurso que se consume para producir un producto, la relación se puede observar en la ecuación 1. En el cálculo de la productividad donde intervengan diferentes recursos y se obtengan diversos

productos, se debe tener en cuenta un criterio para sumar diversas unidades de medición en insumos y productos, se suele utilizar una ponderación para ello, como muestra la ecuación 2.

$$Productividad = \frac{Producto\ resultante\ (Salida)}{Recurso\ empleado\ (Entrada)} \quad (1)$$

$$Productividad = \frac{Ponderación\ de\ salidas}{Ponderación\ de\ entradas} \quad (2)$$

Para medir el nivel de productividad y sus cambios, los índices de TFP (Productividad Total de los Factores) son los más usados. Al trabajar con un caso multidimensional, la TFP se define como la relación entre productos e insumos agregados. Al hacer una similitud con la anterior relación de productividad, sería necesario el conocer la ponderación o el valor de cada factor a evaluar (Rusielik, 2021). Por ello, O'Donnell (2010) desarrolló un método para estimar una productividad relativa a partir de índices que se basan en las relaciones entre los objetos analizados. Se utilizan métodos de programación lineal, en este caso DEA (Análisis Envolvente de Datos), puesto que partiendo de los supuestos de esta metodología no paramétrica se pueden calcular funciones de distancia agregada.

Así, tomando que  $x_{it} = (x_{1it}, \dots, x_{kit})$  y  $q_{it} = (q_{1it}, \dots, q_{jit})$  son vectores de insumos y productos, la TFP del objeto  $i$  en el periodo  $t$  es:

$$TFP_{it} = \frac{Q_{it}}{X_{it}} \quad (3)$$

Donde  $Q_{it} = Q(q_{it})$  es la salida agregada y  $X_{it} = X(x_{it})$  es la entrada agregada. Si se conoce la productividad máxima en un periodo  $t$ , se puede calcular la eficiencia, la cual se estima

como el cociente entre la TFP observada y la máxima TFP que se puede obtener en un periodo haciendo uso de la tecnología disponible. Definida por la siguiente ecuación:

$$TFPE_{it} = \frac{TFP_{it}}{TFP_t^*} = \frac{Q_{it}/X_{it}}{Q_{it}^*/X_{it}^*} \quad (4)$$

O bien:

$$TFP_{it} = (TFP_t^*) * (TFPE_{it}) \quad (5)$$

Donde  $TFP_t^*$  es la máxima TFP alcanzable con la tecnología disponible en el período t, y  $Q_{it}^*$  y  $X_{it}^*$  son los productos e insumos agregados en este punto del alcance máximo de la TFP. En la ecuación 5,  $TFP_t^*$  es una estimación de tecnología (MP) o bien, la máxima productividad posible bajo la tecnología existente, y  $TFPE_{it}$  es el nivel de eficiencia (TFPE).

#### 4.2.2 *Análisis envolvente de datos (DEA)*

Método no paramétrico para el cálculo de eficiencia de unidades de toma de decisión (DMU), las cuales reciben múltiples insumos, también llamadas inputs que generan productos u outputs (Lin et al, 2009). Los modelos DEA más utilizados en medición de eficiencia son CCR (Charnes, Cooper y Rhodes 1978) y BCC (Banker, Charnes y Cooper, 1984). En el modelo CCR, se obtienen medidas de eficiencia tipo radial y rendimientos a escala constantes, en el BCC se obtienen rendimientos a escala variables. Estos métodos pueden estar orientados a mantener insumos (input) o a productos (output). En un modelo orientado al insumo, para que la DMU llegue a ser eficiente, se varía el grado de insumos manteniendo el mismo nivel de productos; para un modelo orientado al producto, el enfoque está en aumentar el nivel de productos, haciéndola más eficiente mientras se trabaja con los mismos recursos o insumos (Blackburn, Brennan y Ruggiero 2014). Para el caso de esta investigación, se adopta un modelo DEA orientado a productos y con

rendimientos variables a escala (VRS). Se selecciona una orientación al producto puesto que se quiere observar el nivel de productos alcanzable con los recursos disponibles. Especialmente porque se cuenta con un área de tierra específica, si bien podría extenderse, no debería ser la principal prioridad hasta alcanzar los máximos niveles de producción de cítricos posibles.

La eficiencia está definida en tres diferentes formas: eficiencia técnica ( $TE_{CCR}$ ), eficiencia técnica pura ( $TE_{BCC}$ ), y eficiencia de escala (SE).

Eficiencia técnica ( $TE_{CCR}$ ): puede ser calculada por la razón entre la suma de los pesos de outputs sobre los inputs:

$$\theta = \frac{\sum_{p=1}^P u_p y_{p,j}}{\sum_{q=1}^Q v_q x_{q,j}} \quad (6)$$

Donde “x” y “y” son los pesos de inputs y outputs, respectivamente; q es el número de inputs, p el de outputs. Y j es la jésima DMU.

Este modelo, parte del definido inicialmente como CCR, así:

$$\text{Min}_{\theta_B, \lambda} \theta_B, \quad \text{sujeto a} \quad \sum_{j=1}^J \lambda_j y_{pj} \geq y_{p,0} \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j x_{qj} \leq \theta y_{p,0},$$

$$\lambda_j \geq 0,$$

$\lambda_j$  es un vector de J elementos representando la influencia de cada uno en la eficiencia técnica, y  $\theta$  es la eficiencia técnica.

Eficiencia técnica pura ( $TE_{BCC}$ ): Definida a partir del modelo BCC, para el caso de evaluación de eficiencia orientada al input:

$$\text{Min}_{\theta_B, \lambda} \theta_B, \quad \text{sujeto a } \sum_{j=1}^J \lambda_j y_{pj} \geq y_p, 0, \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j x_{qj} \leq \theta * y_p, 0,$$

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j \geq 1,$$

$$\lambda_j \geq 0,$$

Donde la ecuación descrita a continuación es una restricción de convexidad, sin esta, el modelo BCC se convertiría en un modelo CCR

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j = 1 \quad (9)$$

-Eficiencia de escala (SE): a partir de los resultados de las dos eficiencias anteriores, esta se define como su cociente, así:

$$SE = \frac{TE_{CCR}}{TE_{BCC}} \quad (10)$$

### 4.2.3 Índice Malmquist

En el análisis de productividad, el índice de Malmquist (MPI por sus siglas en inglés), se define como el cociente entre funciones de distancia de fechas distintas, recogido por Pumisacho y Alvarado (2018)

$$M^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left( \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} * \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right)^{1/2} \quad (11)$$

Donde  $D^t$  es la función distancia que mide la eficiencia de convertir inputs  $x^t$  en outputs  $y^t$ , en el período t. Una manera equivalente de definir la ecuación anterior:

$$M^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} * \left( \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} * \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right)^{1/2} \quad (12)$$

Así, el MPI representa la variación de la productividad total de factores, definido como el cambio en la eficiencia técnica multiplicado por el promedio geométrico de cambio.

El MPI es muy útil para representar la variación anual de la eficiencia, observando el comportamiento de esta, es decir, si los valores de eficiencia se incrementan o disminuyen a través del tiempo (Leal, Cepeda, 2013). El MPI asume los supuestos de rendimientos a escala constantes (CRS), abriendo un debate en torno a poca fiabilidad de resultados, como señalan O'Donnell (2010) y Hoang (2011) en sus investigaciones sobre productividad agrícola. De esta manera, sugieren el uso de los índices agregados de TFP, como los de Hicks-Moorsteen, al momento de estimar la productividad agrícola, asumiendo los efectos variables a escala (VRS) y un ajuste de la metodología a condiciones tecnológicamente débiles, como lo recoge Rusielik (2021) en su investigación sobre productividad agrícola en Europa.

#### 4.2.4 Índice Hicks-Moorsteen

El índice de Hicks-Moorsteen se define como el cociente entre índices de Malmquist, de orientación a insumo y productos. Este índice es útil para mostrar las variaciones en productividad y cumple con una propiedad que O'Donnell (2008, 2010) define como multiplicativamente completo, además de las descomposiciones a las que puede ser sometido para explicar los crecimientos o caídas en productividad. Para la definición del índice de Hicks-Moorsteen, se parte del índice de Malmquist, a partir de la definición de O'Donnell (2010), aplicada por Perera (2018). Para los periodos 0 y 1 se obtiene el índice de Malmquist, definido así:

$$IM_O^0 = \frac{D_O^0(x^1, y^1)}{D_O^0(x^0, y^0)} \quad (13)$$

$$IM_O^1 = \frac{D_O^1(x^1, y^1)}{D_O^1(x^0, y^0)} \quad (14)$$

Dónde  $D_O^0(x^1, y^1)$  y  $D_O^0(x^0, y^0)$  son las funciones de distancia de Shephard (1953) con orientación output para un periodo 0,  $IM_O^0$  es el índice de Malmquist del período 0, y  $IM_O^1$  lo es para el periodo 1 con sus respectivas funciones de distancia.

Así, el índice de Hicks-Moorsteen se define como la razón entre los índices de Malmquist con orientación output e input, según O'Donnell (2012);

$$IHM^0 = \frac{Q_O^0}{Q_I^0} = \frac{\frac{D_O^0(x^0, y^1)}{D_O^0(x^0, y^0)}}{\frac{D_I^0(x^1, y^0)}{D_I^0(x^0, y^0)}} \quad (15)$$

$$IHM^1 = \frac{Q_O^1}{Q_I^1} = \frac{\frac{D_O^1(x^1, y^1)}{D_O^1(x^1, y^0)}}{\frac{D_I^1(x^1, y^1)}{D_I^1(x^0, y^1)}} \quad (16)$$

Siendo  $IHM^0$  e  $IHM^1$  los índices de Hicks-Moorsteen para los periodos 0 y 1 respectivamente. La medida de productividad se calcula mediante la raíz cuadrada del producto de los índices:

$$IHM_1^0 = (IHM^0 * IHM^1)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Además, la descomposición del IHM en dos períodos se denota así:

$$IHM_1^0 = \frac{TFP_1^*}{TFP_0^*} * \frac{TFPE_1}{TFPE_0} \quad (18)$$

$$IHM_1^0 = \frac{TFP_1^*}{TFP_0^*} * \frac{OTE_1}{OTE_0} * \frac{OME_0}{OME_1} * \frac{ROSE_0}{ROSE_1}$$

$$IHM_1^0 = \frac{TFP_1^*}{TFP_0^*} * \frac{OTE_1}{OTE_0} * \frac{OSE_0}{OSE_1} * \frac{RME_0}{RME_1}$$

Dónde:

$$\frac{TFP_1^*}{TFP_0^*} = dMP = \text{Cambio tecnológico} \quad (19)$$

$$\frac{TFPE_1}{TFPE_0} = dTFPE = \text{Cambio en eficiencia} \quad (20)$$

$$\frac{OTE_0}{OTE_1} = dOTE = \text{Cambio en eficiencia técnica} \quad (21)$$

$$\frac{OME_0}{OME_1} = dOME = \text{Cambio en eficiencia mixta} \quad (22)$$

$$\frac{ROSE_0}{ROSE_1} = dROSE = \text{Cambio en eficiencia de escala residual} \quad (23)$$

$$\frac{OSE_0}{OSE_1} = dOSE = \text{Cambio en eficiencia de escala} \quad (24)$$

$$\frac{RME_0}{RME_1} = dRME = \text{Cambio en eficiencia mixta residual} \quad (25)$$

O'Donnell (2012) define a la eficiencia técnica como el máximo producto que se puede obtener a partir de los insumos y la tecnología dada, la eficiencia escala es la cantidad máxima de aumento del producto si se asume rendimientos constantes a escala, la eficiencia residual mixta representa la variación en TFP medida por la distancia de un óptimo sobre una frontera restringida en la combinación entre inputs y outputs, al óptimo respectivo en una frontera sin esta restricción de frontera, cuando se tienen definidas la eficiencia técnica y la eficiencia de escala. La eficiencia escala mixta es el producto de la eficiencia escala y la residual mixta, según recoge Perera (2018), a partir de O'Donnell.

#### **4.2.5 Variables**

La selección de variables se determina por las relaciones de causalidad encontradas en trabajos empíricos o postuladas por la teoría en mención. A partir de la bibliografía consultada, se identifica que, en la metodología tratada, Valencia y Duana (2019) trabajan con superficie sembrada, jornales, tecnología y exportación de productos. Povedo, Arango y Pinzón (2018) utilizan variables insumo como características de suelo, clima, precipitaciones, cantidad y concentración de elementos en el suelo, y productos como el rendimiento y su cuadrado. Rusielik (2021), utiliza en su análisis algunas variables como la producción agrícola (millones de euros), área agrícola (hectáreas), unidad de trabajo anual agrícola (AWU), costos directos y depreciación (millones de euros), datos tomados de EUROSTAT. O'Donnell (2010), trabaja en su investigación con las variables producto: cultivos y animales, para insumos: tierra, mano de obra, tractores y fertilizantes, con datos obtenidos de la FAO.

En este caso particular, la información de las variables se toma de entidades dedicadas al sector agropecuario a nivel nacional, como referencia los informes “Cadena de cítricos: indicadores e instrumentos”, publicados anualmente por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, donde la recopilación de datos está definida por variables como área sembrada, área cosechada (ambas en hectáreas), producción (toneladas) y rendimiento (toneladas/hectárea). Además de capital humano en número de empleos directos e indirectos y balanza comercial (exportaciones). En el informe también se recogen estimados de costos de producción anuales, discriminados entre costos de establecimiento y costos de mantenimiento. Cabe aclarar, que dependiendo de la información disponible se podrían adicionar o sustraer algunas variables para evaluar. En este caso, debido a las limitaciones de información histórica disponible y segmentada en departamentos, se procede a trabajar con 4 variables, dos con orientación input (área sembrada y área cosechada) y dos con orientación output (producción y rendimiento). Sin embargo, a criterio del investigador se seleccionan área sembrada, producción y rendimiento debido a que esta última se calcula a partir del cociente entre producción (toneladas) y área cosechada (hectáreas).

**Tabla 5**

*Variables recogidas en los informes del Ministerio de Agricultura*

<b>Variable</b>	<b>Orientación de variable</b>	<b>Unidad de medida</b>
Área sembrada	Input	Hectáreas
Producción	Output	Toneladas
Rendimiento	Output	Toneladas/hectárea

*Nota:* variables tomadas de los informes “Cadena de cítricos: indicadores e instrumentos”

De acuerdo con las variables seleccionadas, y complementando con la literatura revisada previamente, en la evaluación de la productividad y la eficiencia y su comportamiento, autores como O'Donnell, Rao & Battese (2008), Thompson et al. (1990), Helfand & Levine (2004) y O'Donnell (2010) utilizan la extensión de tierra, número de hectáreas sembradas o cultivadas como una variable insumo que es básica en las actividades del sector primario directamente relacionadas con los cultivos o el cuidado de animales. Además de toneladas de producto, su valor monetario, rendimiento por hectárea o cantidad de animales como variables productos principales. Sin embargo, otra variable insumo importante, en la que coinciden la mayoría de los autores, es el número de trabajadores o sus horas trabajadas. Para esta investigación no fue posible encontrar una desagregación por departamentos o municipios para el sector citrícola en concreto, por ello no pudo hacer parte del análisis.

## **5. Metodología de la investigación**

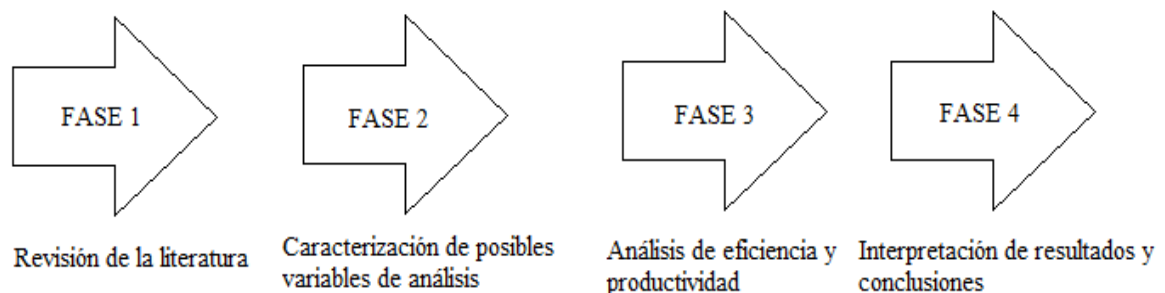
Para el desarrollo de una investigación, se pueden tomar tres enfoques, el cualitativo, cuantitativo y el mixto. En un enfoque cuantitativo, la principal herramienta es la recolección y análisis de datos para dar respuesta a la pregunta de investigación, confiando en estimaciones numéricas, conteo y constantemente en la estadística a través del uso de muestreo representativo (Vega et al., 2014).

En la presente investigación se busca establecer de manera cuantitativa una estimación de la eficiencia y productividad del sector citrícola en el departamento de Santander, para ello, se partirá de la metodología no paramétrica de análisis envolvente de datos (DEA), y se desarrollará un modelo para la evaluación de eficiencia y productividad en el sector citrícola del departamento

de Santander mediante el índice de Hicks-Moorsteen. Se escoge este método por su flexibilidad para trabajar con múltiples insumos o variables independientes y múltiples productos o variables dependientes. Los datos utilizados en el estudio proceden de fuentes secundarias, para este caso específico, de indicadores históricos dispuestos en bases de datos de carácter oficial, tales como el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, DANE, estadísticas recopiladas por portales de asociaciones como Asohfrucol, Cámara de Comercio, etcétera. A partir de esta selección de métodos y variables, se desarrolla el análisis de datos en software para cumplir el producto principal del trabajo de grado.

### Figura 17

#### *Fases de metodología de investigación*



### 5.1 Revisión de la literatura

La fase 1 es la revisión de la literatura, utilizando los recursos electrónicos que ofrece la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander, se plantea una búsqueda inicial de términos a nivel general que recogen la temática principal de la investigación a desarrollar. Se selecciona la base bibliográfica Scopus por criterio del investigador, esta cuenta con diversas herramientas que facilitan el posterior análisis de la bibliografía tenida en cuenta, junto a tendencias, autores e investigaciones relevantes. A partir de estos primeros resultados, se recogen palabras que tienen relación a la búsqueda objetivo, mediante sinónimos, palabras clave y tesauros. Luego de obtener

una ecuación adecuada, se efectúa un análisis de cómo se comporta el tema a investigar a través de los años, las principales instituciones que han estudiado el tema, las áreas del conocimiento donde la investigación se ha centrado. Usando el software Vosviewer se ejecuta un análisis para verificar los autores más citados y las palabras clave relacionadas que tienen importancia en la temática. Puesto que el proyecto está enfocado al análisis de eficiencia y productividad de Santander, para hacer una caracterización del sector agrícola en el departamento se utilizan fuentes de carácter oficial como el Ministerio de Agricultura, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la Gobernación de Santander junto a información pública de organizaciones agropecuarias y datos recopilados en plataformas de acceso público. Así como estadísticas del comportamiento del sector en otros departamentos, identificando algunas falencias que se presentan en esta porción de la economía como tecnificación, precios de insumos, entre otras y afectaciones a los cultivos de carácter climático o incidencia de enfermedades.

## **5.2 Identificación de variables**

En la fase 2 se identifican y definen las variables a utilizar, tomando en cuenta la literatura consultada en el sector agrícola y datos disponibles a nivel nacional, recogidos por entidades públicas o privadas. variables independientes como el área sembrada y otras de carácter dependiente como la producción y rendimiento. La información respecto al comportamiento histórico de estas es recopilada por el DANE y publicado en una serie de informes del Ministerio de Agricultura, denominados como “Cadena de cítricos: Indicadores e instrumentos “.

## **5.3 Análisis de productividad y eficiencia**

En la fase 3 se define el método a ejecutar, tomando en cuenta literatura que utiliza pruebas no paramétricas en el sector agrícola. Teniendo como base el Análisis Envolvente de Datos (DEA) para estimar la eficiencia, método enfocado a insumos y productos, se indaga sobre metodologías

con relación al DEA y que sean utilizadas para evaluar la productividad, siendo relevantes los índices de Malmquist y Hicks-Moorsteen, aplicados en diferentes estudios del sector agrícola y otros renglones de la economía, con suficiente información disponible para adaptarlos al análisis requerido. Se selecciona alguno de los anteriormente señalados para efectuar esta parte del proyecto. Finalmente, se ejecuta el análisis de eficiencia y productividad en R, software libre de tipo estadístico, que posee una serie de librerías y herramientas gráficas bastante útiles en el desarrollo del análisis. Evaluando medidas en el tiempo como productividad total de los factores (TFP), productividad máxima (MP) y eficiencia (TFPE).

#### 5.4 Resultados y conclusiones

Finalmente, en la fase 4 correspondiente a la interpretación de resultados y conclusiones se explican los resultados obtenidos en la fase 3, el cual constituye el principal producto de la investigación propuesta y que es socializado mediante la redacción de un documento final de proyecto de grado, un artículo de carácter publicable y la respectiva sustentación de la investigación. A continuación, se presentan las actividades desarrolladas en cada una de las fases descritas anteriormente.

#### Tabla 6

*Actividades ejecutadas durante la investigación.*

<b>Actividades ejecutadas durante el desarrollo del proyecto</b>	
<b>Fase 1: Revisión de la literatura</b>	-Ejecución de análisis bibliométrico
	-Revisión de bibliografía para identificar literatura pertinente

---

	-Revisión de literatura para la identificación de variables a utilizar.
	-Revisión de literatura para la identificación de metodologías utilizadas en eficiencia y productividad.
<b>Fase 2: Identificación y caracterización de posibles variables de análisis</b>	-Búsqueda de información histórica en términos de productividad del sector agrícola.
<b>Fase 3: Análisis de eficiencia y productividad.</b>	-Definición de metodologías para su posible aplicación y ajuste a la investigación en desarrollo.  -Aplicación de la metodología seleccionada.  -Ejecución del análisis utilizando el software R.
<b>Fase 4: Interpretación de resultados y conclusiones.</b>	-Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.  -Elaboración de un artículo de carácter científico y publicable.

---

## 6. Definición del modelo de índice de Hicks-Moorsteen

El modelo para desarrollar en el presente trabajo parte de la metodología de Análisis Envolvente de Datos para desarrollar el Índice de Hicks-Moorsteen, cuyo objetivo es la estimación

de eficiencia y productividad del sector citrícola en el departamento de Santander. Para ello, se parte del tipo de variables, su definición y naturaleza.

## 6.1 Variables

### 6.1.1 Variables asociadas a insumos

Corresponden a los inputs necesarios al aplicar la metodología DEA.

**Área plantada o sembrada:** Corresponde al número de hectáreas que presentan siembra del cultivo, cítricos en este caso.

### 6.1.2 Variables asociadas a productos

Corresponden a los outputs para aplicar la metodología DEA.

**Producción:** Corresponde a la cantidad de toneladas cosechadas del fruto.

**Rendimiento:** Es el cociente entre la producción y el área en producción (no confundir con el área sembrada) del cultivo. Se mide en toneladas/hectárea.

La fuente de los datos anteriormente definidos corresponde a las estadísticas históricas de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (DANE, 2020).

**Tabla 7**

*Variables de análisis, periodo 2016-2020*

Variable	Departamento	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Área sembrada (Input)</b>	Antioquia	6954	7415	7773	8268,18	9019
	Caldas	7346	7185	7272	7188	7328,6
	Cundinamarca	9557	10005	10387	10451,7	10893,24
	Meta	6932	7959	7975	7155,29	6307,1
	Nariño	5198	5487	5971	8165,5	8706,8

	Norte de Santander	2135	2064	2094	2041,45	2085,15
	Quindío	6263	5830	5872	6516,5	6884,59
	Santander	21468	21559	22703	23256,98	24959,55
	Tolima	6752	5472	5662	7187	8230
	Valle del Cauca	6282	6427	6406	6516,62	7540,1
<b>Producción</b>	Antioquia	115543	123654	146674	165833,13	197272,55
<b>(Output)</b>	Caldas	98522	97791	98309	96605,2	110580,31
	Cundinamarca	61606	67402	67240	99206,7	89958,94
	Meta	84524	96206	106946	94300,55	79848,62
	Nariño	19103	22291	23914	48268,5	73953,69
	Norte de Santander	23064	22548	22779	21973,24	22034,98
	Quindío	106486	140947	142568	136715,85	122519,1
	Santander	252749	306679	316994	421896,05	309191,86
	Tolima	35411	43334	52117	61047,1	79598,64
	Valle del Cauca	155079	148921	140683	142362,14	127244,5
<b>Rendimiento</b>	Antioquia	19,6	20,05	21,53	23,11	24,77
<b>(Output)</b>	Caldas	17,17	15,58	15,6	17,46	17,41
	Cundinamarca	6,94	7,41	7,31	10,19	9,68
	Meta	15,16	14,42	15,78	14,75	14,27
	Nariño	4,2	4,38	4,53	6,83	8,81
	Norte de Santander	11,6	11,66	11,62	11,23	11,08
	Quindío	25,6	24,97	24,96	23,12	22,61

Santander	16,17	16,08	15,92	20,42	13,35
Tolima	8,39	9	10,01	10,89	11,94
Valle del Cauca	25,4	26,67	25,35	22,69	18,89

De manera preliminar, se calculan estadísticos básicos, teniendo en cuenta las variables del modelo construido: área sembrada, producción y rendimiento. En la Tabla 8 se puede observar el comportamiento anual de estas métricas, teniendo en cuenta que en el departamento de Santander supera en más del doble al número promedio de hectáreas sembradas de cítricos en la ventana de tiempo estudiada. Por ende, todos los valores máximos de hectáreas cultivadas con cítricos corresponden a Santander. Para el caso de la producción, el departamento también supera de manera amplia la media anual de toneladas de cítricos de los departamentos estudiados, para ofrecer de nuevo los máximos valores de producto año a año, teniendo el tope en el año 2019 con 421896 toneladas. Sin embargo, este comportamiento no se replica para la variable rendimiento, donde a pesar de que este oscila cerca al promedio de los departamentos estudiados (excepto en 2019, donde supera el promedio de los rendimientos en 4 puntos), Santander no puntea en ningún año. Quindío (2016, 2019), Valle del Cauca (2017, 2018) y Antioquia (2020) poseen los valores pico de rendimiento, obteniendo una mayor relación entre la cantidad de hectáreas que están en edad productiva y el número de toneladas cosechadas. Donde estos menores rendimientos en el departamento muestran la oportunidad de maximizar el uso de suelo destinado al cultivo de interés.

**Tabla 8***Estadísticas iniciales del comportamiento anual de las variables*

<b>Variable</b>	<b>Año</b>	<b>Media</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desviación</b>
		<b>aritmética</b>			<b>estándar</b>
<b>Área sembrada</b> <b>(hectáreas)</b>	2016	7888,7	2135	21468	5122,12
	2017	7940,3	2064	21559	5206,45
	2018	8211,5	2094	22703	5513,05
	2019	8674,72	2041,45	23256,98	5540,48
	2020	9195,41	2085,15	24959,55	5991,25
<b>Producción</b> <b>(toneladas)</b>	2016	95208,7	19103	252749	70530,56
	2017	106977,3	22291	306679	83791,58
	2018	111822,4	22779	316994	85960,96
	2019	128820,85	21973,24	421896,05	112107,86
	2020	121220,32	22034,98	309191,86	80112,11
<b>Rendimiento</b> <b>(toneladas/hectárea)</b>	2016	15,02	4,20	25,60	7,34
	2017	15,02	4,38	26,67	7,31
	2018	15,26	4,53	25,35	7,11
	2019	16,07	6,83	23,12	6,11
	2020	15,28	8,81	24,77	5,46

Para ejecutar el modelo, se utiliza un ordenador con procesador AMD Athlon 3000G with Radeon Vega Graphics a 3.50 GHz, RAM de 8 GB y un sistema operativo Windows 10 Pro de 64

bits. El modelo es implementado en el entorno de desarrollo integrado RStudio, a partir del lenguaje de programación R, se cuenta con las versiones 4.2.2 para R y la versión 2022.12.0+353 de RStudio que permite trabajar con los paquetes necesarios para la estimación de eficiencia y productividad.

## 6.2 Índice de Hicks-Moorsteen

Se hace uso del paquete “productivity” de RStudio (Dakpo, Desjeux & Latruffe, 2018), que posee la función “hicksmoorsteen”.

```
hicksmoorsteen(data, id.var, time.var, x.vars, y.vars, w.vars = NULL, p.vars = NULL,      (26)
  tech.change = TRUE, tech.reg = TRUE, rts = c("vrs", "crs", "nirs", "ndrs"),
  orientation = c("out", "in", "in-out"), parallel = FALSE, cores = max(1,
  detectCores() - 1), scaled = TRUE, components = FALSE)
```

Los atributos para usar de la función hicksmoorsteen son:

**data:** dataframe o conjunto de datos que tiene la información para medir la productividad, en este caso los datos se encuentran almacenados en un archivo de Excel (.xlsx).

**id.var:** identificación de la variable, tomando valores de tipo string o integer

**time.var:** variable de tiempo, toma valores tipo string o integer.

**x.vars:** variables de entrada o insumos, de tipo string o integer.

**y.vars:** variables de salida, de tipo string o integer.

**rts:** Cadena de caracteres del tipo de retornos de escala. Puede ser "vrs" (retornos variables a escala), "crs" (retornos constantes a escala), "nirs" (retornos no crecientes a escala), o "ndrs" (retornos no decrecientes a escala).

**orientation:** valor de tipo string que especifica la orientación del modelo, puede ser in (orientación de entrada), out (orientación de salida) o in-out (orientaciones de entrada y salida).

Para este caso, se utiliza la orientación out.

Los demás argumentos son opcionales para el modelo a ejecutar y en este caso no son necesarios.

### 7. Implementación del modelo Hicks-Moorsteen

Teniendo en cuenta los atributos anteriormente expuestos en la definición del modelo, la función hicksmoorsteen ejecutada está descrita en la siguiente ecuación, donde  $x.vars = (3)$  corresponde a la columna área sembrada, y  $y.vars = (4:5)$  corresponden a producción y rendimiento, respectivamente:

$$\begin{aligned} \text{Resultado} < \text{-productivity::hicksmoorsteen}(\text{data} = & \hspace{15em} (27) \\ \text{Datos\_citricos}, \text{id.var} = \text{"DEPARTAMENTO"}, \text{time.var} = & \\ \text{"AÑO"}, \text{x.vars} = (3), \text{y.vars} = (4:5), \text{rts} = \text{"vrs"}, \text{orientation} = \text{"out"}) & \end{aligned}$$

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de la ejecución del script, contenidos en las secciones de Levels y Changes.

**Figura 18**

*Pestaña Levels de resultados.*

	DEPARTAMENTO	AÑO	AO	AI	TFP	MP	TFPE
1	ANTIOQUIA	2016	0.7712015	1.3797477	0.55894387	1.0605380	0.5270380
2	CALDAS	2016	0.6751635	1.6304989	0.41408399	0.9480290	0.4367841
3	CUNDINAMARCA	2016	0.3497511	2.8564822	0.12244118	0.4689010	0.2611237
4	META	2016	0.5954712	1.7050169	0.34924653	0.8555021	0.4082357
5	NARIÑO	2016	0.1917806	2.4346604	0.07877097	0.5223510	0.1508008
6	NORTE DE SANTANDER	2016	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000
7	QUINDIO	2016	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.3295467	0.7521360
8	SANTANDER	2016	1.0000000	1.0000000	1.0000000	2.0968009	0.4769170
9	TOLIMA	2016	0.3277401	2.6763303	0.12245877	0.5308648	0.2306779
10	VALLE DEL CAUCA	2016	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000
11	ANTIOQUIA	2017	0.7827384	1.4374038	0.54455010	0.8794630	0.6191848
12	CAIDAS	2017	0.6118245	1.6033388	0.38159402	0.7639882	0.4994763

Showing 1 to 12 of 50 entries, 13 total columns

Donde cada componente de 'Levels' significa:

AO: Productos agregados

AI: Entradas agregadas

TFP: Productividad Total de los Factores

MP: Productividad Máxima

TFPE: Puntuación de eficiencia de TFP

OTE: Puntuación de eficiencia técnica orientada al producto

OSE: Puntuación de eficiencia de escala orientada al producto

OME: Puntuación de eficiencia mixta orientada al producto

ROSE: Puntuación residual de eficiencia de escala orientada al producto.

OSME: Puntuación de eficiencia de escala mixta orientada al producto.

RME: Puntuación residual de eficiencia mixta

**Figura 19**

*Pestaña Changes de resultados.*

	DEPARTAMENTO	AÑO	dAO	dAI	dTFP	dMP	dTFPE
1	ANTIOQUIA	2016	NA	NA	NA	NA	NA
2	CALDAS	2016	NA	NA	NA	NA	NA
3	CUNDINAMARCA	2016	NA	NA	NA	NA	NA
4	META	2016	NA	NA	NA	NA	NA
5	NARIÑO	2016	NA	NA	NA	NA	NA
6	NORTE DE SANTANDER	2016	NA	NA	NA	NA	NA
7	QUINDIO	2016	NA	NA	NA	NA	NA
8	SANTANDER	2016	NA	NA	NA	NA	NA
9	TOLIMA	2016	NA	NA	NA	NA	NA
10	VALLE DEL CAUCA	2016	NA	NA	NA	NA	NA
11	ANTIOQUIA	2017	1.0380059	1.0662928	0.9734718	1.0360630	0.9395874
12	CALDAS	2017	0.9341552	0.9780833	0.9550875	1.0360630	0.9218431
13	CUNDINAMARCA	2017	1.0010017	1.0160766	1.0150011	0.9700074	1.0071116

Showing 1 to 13 of 50 entries, 13 total columns

En la pestaña Changes se obtienen índices de cambio para cada ítem de la pestaña Levels, estos cambios están denotados por el prefijo d, por ello se observa que en el año 2016 no se encuentra ningún dato, al no existir una posible comparación puesto que es el primero en la ventana de tiempo del análisis.

## 8. Resultados

### 8.1 Evaluación en departamentos

El índice de Hicks-Moorsteen permite observar las variaciones en productividad en el periodo estudiado. Se van a analizar los dos componentes principales que inciden en la TFP, estos

son la TFPE y MP, eficiencia y nivel de tecnología, respectivamente. A continuación, se presentan los resultados de cambios en TFP (dTFP en RStudio) en el periodo estudiado (Tabla 9), donde los valores mayores que 1 ( $dTFP > 1$ ) significan un crecimiento en la TFP, valores menores que 1 ( $dTFP < 1$ ) se explican como un descenso en TFP, e iguales a 1 ( $dTFP = 1$ ) se entienden como una TFP sin variación, de la misma manera se pueden entender las variaciones en sus componentes (Aparicio, López-Torres & Santín, 2018).

**Tabla 9**

*Variación de TFP en departamentos*

<b>Departamento</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Antioquia</b>	0,97	1,09	1,04	1,04
<b>Caldas</b>	0,96	0,99	1,13	0,98
<b>Cundinamarca</b>	1,05	0,96	1,45	0,88
<b>Meta</b>	0,91	1,10	1,00	1,07
<b>Nariño</b>	0,99	0,95	1,28	1,32
<b>Norte de Santander</b>	1,03	0,99	0,99	0,97
<b>Quindío</b>	1,05	1,00	0,85	0,91
<b>Santander</b>	1,15	0,97	1,28	0,67
<b>Tolima</b>	1,33	1,07	0,86	0,99
<b>Valle del Cauca</b>	0,98	0,95	0,94	0,76

Con el objetivo de visualizar de mejor manera los resultados anteriores, en la siguiente tabla se transforman las dTFP a cambios porcentuales, donde los valores positivos son incrementos en TFP y los negativos son decrecimientos en este índice.

**Tabla 10**

*Variación porcentual de TFP en departamentos*

<b>Variación porcentual TFP</b>				
<b>Departamento</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Antioquia</b>	-2,65	9,04	3,59	3,5
<b>Caldas</b>	-4,49	-0,8	13,2	-2,21
<b>Cundinamarca</b>	4,51	-3,91	44,64	-12,01
<b>Meta</b>	-9,37	10,41	0,42	7,05
<b>Nariño</b>	-1,15	-4,96	27,6	31,84
<b>Norte de Santander</b>	2,55	-1,14	-0,95	-2,62
<b>Quindío</b>	5,22	-0,17	-15,07	-8,86
<b>Santander</b>	15,38	-2,88	27,95	-32,91
<b>Tolima</b>	32,62	7,44	-14,29	-0,79
<b>Valle del Cauca</b>	-1,95	-4,73	-6,46	-24,39

Antioquia y Meta presentan mejoras en productividad a partir del 2018. Valle del Cauca tiene descensos continuos en productividad. Nariño tiene grandes incrementos en 2019 y 2020, alrededor del 30% en ambos años; Cundinamarca tiene incrementos en el 2017 y 2019, (4,51% y 44,64% respectivamente). Para el caso de Santander, el desempeño es irregular, teniendo variaciones positivas y negativas intercaladas, el departamento no logra mantener una tendencia,

o bien cierta estabilidad. En 2017 y 2019, tiene incrementos de 15,38% y 27,95%, respectivamente. En 2018 y 2020 baja su desempeño en 2,88% y 32,91%. Sin embargo, esta irregularidad es el desempeño común en la mayoría de estos departamentos. Para explicar el comportamiento de la variación de la TFP, se puede observar que Santander tiene aumentos en producción de fruto (toneladas) en los años 2017, 2018 y 2019. Mientras que en el año 2020 sufre una gran caída en este aspecto, pasando de 421896 ton en 2019 a 309191 ton en 2020. El descenso del 2,88% en 2018, si bien es leve, se explica con un menor rendimiento en relación con los años anteriores, puesto que en 2016 tiene 16,17, en 2017 un 16,08 y para 2018 es de 15,92 toneladas/hectárea. Como el índice de Hicks-Moorsteen permite la descomposición el cambio de TFP mediante las variaciones de TFPE y MP, podría suponerse que la irregularidad será la regla de desempeño en los cambios para estos componentes.

De igual manera, se muestran los resultados asociados a la variación de TFPE en la siguiente tabla, es válido recordar que el índice de TFPE es una medida del nivel de eficiencia a partir de productividad actual, dividida entre la productividad máxima.

**Tabla 11**

*Variación de TFPE en departamentos*

<b>Departamento</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Antioquia</b>	0,94	1,10	1,10	1,05
<b>Caldas</b>	0,92	1,00	1,14	1,01
<b>Cundinamarca</b>	1,07	0,96	1,56	0,89
<b>Meta</b>	0,90	1,11	1,06	1,11
<b>Nariño</b>	0,95	0,97	1,35	1,34

<b>Norte de Santander</b>	1,02	1,00	1,05	0,99
<b>Quindío</b>	1,01	1,01	0,90	0,94
<b>Santander</b>	1,15	0,98	1,35	0,68
<b>Tolima</b>	1,28	1,09	0,86	1,03
<b>Valle del Cauca</b>	0,97	0,97	0,99	0,77

Asimismo, las variaciones porcentuales de TFPE para los años de estudio se observan a continuación.

**Tabla 12**

*Variación porcentual de TFPE en departamentos*

<b>Variación porcentual TFPE</b>				
<b>Departamento</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Antioquia</b>	-6,04	9,75	9,67	5,25
<b>Caldas</b>	-7,82	-0,19	14,16	1,25
<b>Cundinamarca</b>	6,71	-4,32	55,91	-10,66
<b>Meta</b>	-10,2	11,09	6,33	10,69
<b>Nariño</b>	-4,94	-3,18	35,09	34,06
<b>Norte de Santander</b>	1,62	-0,42	4,87	-0,98
<b>Quindío</b>	1,19	0,55	-10,09	-5,76
<b>Santander</b>	14,51	-2,24	35,46	-31,87
<b>Tolima</b>	27,53	9,46	-13,56	2,57

<b>Valle del Cauca</b>	<b>-2,84</b>	<b>-3,04</b>	<b>-0,97</b>	<b>-23,22</b>
------------------------	--------------	--------------	--------------	---------------

Las variaciones en TFPE (nivel de eficiencia) y en MP (máxima productividad bajo la tecnología actual), explican la variación en TFP, es decir, un incremento en TFP puede estar sustentado en una mejoría en el nivel de eficiencia (TFPE), o bien, en una mejora tecnológica (MP), o viceversa.

Santander replica el comportamiento en la variación de TFPE con caídas de eficiencia en los mismos años en que tiene descensos en productividad. Antioquia incrementa su eficiencia a la par de sus incrementos en productividad, de la misma manera que Meta. Valle continúa con la tendencia descendente en eficiencia, disminuyendo tal como en productividad. Por su parte, Cundinamarca tiene aumentos en eficiencia en 2017 y 2019, de la misma manera que en productividad.

Retomando la definición de MP como la máxima productividad alcanzable con la tecnología disponible en un periodo dado, en la siguiente tabla se muestran las estimaciones de esta variación.

**Tabla 13**

*Variación de MP en departamentos*

<b>Departamento</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Antioquia</b>	1,04	0,99	0,94	0,98
<b>Caldas</b>	1,04	0,99	0,99	0,97
<b>Cundinamarca</b>	0,98	1,00	0,93	0,98
<b>Meta</b>	1,01	0,99	0,94	0,97

<b>Nariño</b>	1,04	0,98	0,94	0,98
<b>Norte de Santander</b>	1,01	0,99	0,94	0,98
<b>Quindío</b>	1,04	0,99	0,94	0,97
<b>Santander</b>	1,01	0,99	0,94	0,98
<b>Tolima</b>	1,04	0,98	0,99	0,97
<b>Valle del Cauca</b>	1,01	0,98	0,94	0,98

Y se presentan las variaciones porcentuales de MP en la siguiente tabla.

**Tabla 14**

*Variación porcentual de MP en departamentos*

<b>Variación porcentual MP</b>				
<b>Departamento</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Antioquia</b>	3,61	-0,65	-5,54	-1,66
<b>Caldas</b>	3,61	-0,61	-0,84	-3,42
<b>Cundinamarca</b>	-2,07	0,43	-7,23	-1,51
<b>Meta</b>	0,92	-0,61	-5,55	-3,29
<b>Nariño</b>	3,99	-1,84	-5,54	-1,66
<b>Norte de Santander</b>	0,92	-0,72	-5,54	-1,66
<b>Quindío</b>	3,99	-0,72	-5,54	-3,29
<b>Santander</b>	0,76	-0,65	-5,55	-1,53
<b>Tolima</b>	3,99	-1,84	-0,84	-3,27

<b>Valle del Cauca</b>	0,91	-1,74	-5,54	-1,53
------------------------	------	-------	-------	-------

En este caso, se observa de manera preliminar que las variaciones en el nivel de tecnología MP tienden a ser menores en un rango de valores, ubicadas entre -7,23% y 3,99%, mientras que las variaciones en TFPE se encontraban entre -31,87% y 55,91%, es decir que a nivel general se podría encontrar una explicación en las caídas o ascensos de productividad que dependen más del nivel de eficiencia que del nivel de tecnología. Para ello, se calculan las medias geométricas de las variaciones en cada año para el conjunto de departamentos, mostradas a continuación:

**Tabla 15**

*Promedio de las variaciones de TFP, MP y TFPE en los departamentos*

<b>Año</b>	<b>TFP</b>	<b>MP</b>	<b>TFPE</b>
<b>2017</b>	1,03	1,02	1,01
<b>2018</b>	1,01	0,99	1,02
<b>2019</b>	1,06	0,95	1,12
<b>2020</b>	0,94	0,98	0,97

En el año 2017, el aumento en TFP del 3,49% se ve explicado por un aumento en el nivel de tecnología de 2,04% y 1,41% en eficiencia, año que es la excepción, debido a que en los siguientes años, con variaciones de 0,68%, 6,49% y -5,61% en TFP, se ven influenciados en mayor medida por cambios en eficiencia de 1,59%, 11,85% y -3,40%., frente a disminuciones en el nivel de tecnología en 2018 y 2019, contrastando con el crecimiento de TFP y para el 2020 la caída de tecnología acompaña a la disminución en eficiencia, pero no la supera, siendo esta última más influyente en esta ventana de tiempo.

En la tabla siguiente se muestran las variaciones de TFP, TFPE y MP en el departamento de Santander, junto a las variables de entrada y salida utilizadas en el análisis, con el objetivo de relacionar el comportamiento en productividad a partir de la información inicial.

**Tabla 16**

*Métricas de variables e índices en Santander*

<b>Métricas en el departamento de Santander</b>					
<b>Año</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Área sembrada</b> (hectáreas)	21468	21559	22703	23256,98	24959,55
<b>Producción</b> (toneladas)	252749	306679	316994	421896,05	309191,86
<b>Rendimiento</b> (toneladas/hectárea)	16,17	16,08	15,92	20,42	13,35
<b>Variación TFP</b>	-	15,38	-2,88	27,95	-32,91
<b>Variación TFPE</b>	-	14,51	-2,24	35,46	-31,87
<b>Variación MP</b>	-	0,76	-0,65	-5,55	-1,53

En el departamento es notable la irregularidad en el comportamiento de la productividad, impulsada por el nivel de eficiencia, puesto que, en los años 2017 y 2019, donde incrementa la TFP en 15,38% y 27,95%, los incrementos en eficiencia del 14,51% y 35,46% impulsan este crecimiento, así como los descensos se ven influenciados en mayor medida por la disminución de TFPE. El departamento no logra establecer una tendencia, al menos bajo el uso de hectáreas sembradas como la variable de insumos, y las de producción y rendimiento como variables de

producto. Haciendo énfasis en la variación de las hectáreas sembradas, la producción y el rendimiento, el área destinada a la siembra aumenta en 0,42%, 5,31%, 2,44% y 7,32% a partir del 2017, la producción tiene variaciones de 21,34%, 3,36%, 33,09% y -26,71%, para el rendimiento son de: -0,56%, -1%, 28,27% y -34,62%, notando que a pesar de los incrementos en área cultivada cada año, esto no se ve reflejado en un crecimiento estable o en una maximización de output, es decir, el incremento de recursos no se traduce en una mayor producción. Sin embargo, no deja de ser llamativo un ascenso de 21,34% en producción en 2017 y una caída de 26,71% en 2020, altos en valor absoluto, lo cual, si bien refleja la irregularidad del sector citrícola en el departamento, vale la pena recordar que el Ministerio de Agricultura, a partir de datos recogidos por el DANE, no ha sido consistente en el monitoreo de hectáreas sembradas y producción, sumado a que debido a la falta de información en el sector agrícola, este análisis se ve limitado a 3 variables (área, sembrada, producción y rendimiento), sin tener en cuenta un seguimiento de costos asociados, créditos o empleos, segmentados por departamentos, o bien, estimaciones confiables para un análisis más profundo. Sin embargo, el análisis permite concluir que el número de hectáreas sembradas no se traduce en un aumento de producción, y ampliar la frontera agrícola debe estar ligado a políticas públicas que incentiven la inversión de capital público y privado, la aplicación de mejoras tecnológicas, acceso a créditos y a tierras que ya estén destinadas para el establecimiento de cultivos. Esto, sin tener en cuenta aún las condiciones de terreno más adecuadas para la producción de cítricos.

## **8.2 Evaluación en municipios de Santander**

Con el objetivo de complementar el análisis, de manera análoga, se analizan 10 municipios correspondientes al departamento de Santander, los cuales representan alrededor del 90% de la producción anual de cítricos en el departamento. Los municipios seleccionados son: Girón,

Lebrija, Palmas del Socorro, Rionegro, San Vicente de Chucurí, Suaita, Barrancabermeja, San Benito, San Gil y Socorro. Se presentan los valores para área sembrada, producción y rendimiento para cada municipio en la siguiente tabla:

**Tabla 17**

*Variables de análisis en municipios, periodo 2016-2020*

<b>Variable</b>	<b>Municipio</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Área sembrada (Input)</b>	Girón	3252	3343	3426	3276	3311,4
	Lebrija	4490	4684	5026	4877	5024
	Palmas del Socorro	657	415	435	423	433
	Rionegro	6976	6640	6619	6553	6507,3
	San Vicente de Chucurí	716	939	996	893	907
	Suaita	650	800	1000	1028	1037
	Barrancabermej a	431	454	576	393,5	404,25
	San Benito	305	274	279	318	1612
	San Gil	467	526	542	774	798
	Socorro	374	396	412	421	474,12
<b>Producción (output)</b>	Girón	76218	63545	66473	62880	63685,6
	Lebrija	42080	80333	73218	93770	91713,25

	Palmas del	11982	8855	9315	9499	9729
	Socorro					
	Rionegro	60101	79366	85963	156940	40970,01
	San Vicente de	9462	14528	14528	7390	7710
	Chucurí					
	Suaita	9000	9000	10560	34930	30840
	Barrancabermej	6204	6251	7845	2984,15	2970,65
	a					
	San Benito	3000	3360	3510	3396	12500
	San Gil	5518	6340	6395	5935	1183
	Socorro	7046	4598	5141	7624	7404,6
<b>Rendimient</b>	Girón	26,44	20,28	20,22	20,65	20,70
<b>o (output)</b>	Lebrija	14,37	18,25	16,63	19,77	19,23
	Palmas del	23,31	23	23	23	23
	Socorro					
	Rionegro	13,33	13,63	14,10	27,90	6,35
	San Vicente de	14,60	16,02	16,02	8,89	8,73
	Chucurí					
	Suaita	15	15	16	35	30
	Barrancabermej	15,36	14,74	17,51	7,95	7,96
	a					
	San Benito	15	15	15	12	9,25

San Gil	13,46	13,46	13,21	12,16	1,53
Socorro	18,84	14,98	16,12	19,25	18,93

Rionegro tiene los mayores valores de área sembrada, superando las 6500 hectáreas en cada año para el periodo estudiado. Lebrija y Girón son los municipios que secundan a Rionegro en cantidad de hectáreas sembradas, y superan ampliamente los valores máximos de 1037 hectáreas sembradas de Suaita en el 2020, 657 hectáreas en el 2016 para Palmas del Socorro, 996 ha en el 2018 en San Vicente de Chucurí, 576 ha en Barrancabermeja en 2018, 1612 ha en San Benito, 798 ha en San Gil y 474 ha en Socorro en 2020. La producción está concentrada en Rionegro, Girón y Lebrija, teniendo estos municipios los valores más altos en cada año. No así para la variable de rendimiento, puesto que el municipio de Palmas del Socorro lidera en 2 de los 5 años la relación entre toneladas producidas por hectárea, Rionegro logra tener el mayor rendimiento en el 2019, Girón en 2016 y Suaita en 2020. Además, Rionegro pasa de 14,09 a 27,9, para luego caer a 6,34 toneladas por hectárea, entre los años 2018 y 2020, siendo bastante irregular el desempeño en esta medida. Lebrija logra un rendimiento con tendencia ascendente, pasando de 14,37 a 19,23 entre 2016 y 2020. En el caso de Girón, este sufre una caída entre los primeros 2 años, pasando de 26,43 a 20,27, estabilizando su rendimiento en torno al valor de 20 en los siguientes años.

A continuación, se muestran las estadísticas iniciales para cada variable en el análisis de municipios:

**Tabla 18***Estadísticas iniciales del comportamiento anual de las variables en municipios*

<b>Variable</b>	<b>Año</b>	<b>Media</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desviación</b>
		<b>aritmética</b>			<b>estándar</b>
<b>Área sembrada (Input)</b>	2016	1831,8	305	6976	2305,76
	2017	1847,1	274	6640	2248,36
	2018	1931,1	279	6619	2274,79
	2019	1895,65	318	6553	2225,85
	2020	2050,81	404,25	6507,3	2165,43
<b>Producción (Output)</b>	2016	23061,1	3000	76218	26490,20
	2017	27617,6	3360	80333	32736,62
	2018	28294,8	3510	85963	32852,79
	2019	38534,82	2984,15	156940	51646,54
	2020	26870,61	1183	91713,25	30280,04
<b>Rendimiento (Output)</b>	2016	16,97	13,33	26,44	4,49
	2017	16,43	13,46	23	3,11
	2018	16,78	13,21	23	2,90
	2019	18,66	7,95	35	8,65
	2020	14,57	1,53	30	9,01

La ecuación ejecutada en el script de RStudio para municipios es similar a la utilizada en el cálculo del índice de Hicks-Moorsteen para departamentos.

```

Resultado_mun <- productivity::hicksmoorsteen(data
= Datos_municipios, id.var = "MUNICIPIO", time.var
= "AÑO", x.vars = (3), y.vars = (4:5), rts = "vrs", orientation
= "out")

```

(26)

De igual manera, se presentan las variaciones en TFP para cada municipio analizado, seguidas de su transformación a cambios porcentuales para una mejor visualización.

**Tabla 19**

*Variación TFP en municipios*

<b>Municipio</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Barrancabermeja</b>	0,92	0,96	0,61	0,97
<b>Girón</b>	0,78	1,00	1,02	1,00
<b>Lebrija</b>	1,54	0,85	1,32	0,95
<b>Palmas del Socorro</b>	1,35	0,98	1,04	0,99
<b>Rionegro</b>	1,39	1,08	1,87	0,26
<b>San Benito</b>	1,18	1,00	0,77	0,33
<b>San Gil</b>	0,92	0,97	0,64	0,12
<b>San Vicente de</b>	1,00	0,94	0,59	0,97
<b>Chucurí</b>				
<b>Socorro</b>	0,68	1,03	1,30	0,87
<b>Suaita</b>	0,81	0,86	2,62	0,86

**Tabla 20***Variación porcentual TFP en municipios*

<b>Variación porcentual TFP en municipios</b>				
<b>Municipio</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Barrancabermeja</b>	-7,81	-3,71	-39,19	-2,81
<b>Girón</b>	-21,79	-0,01	2,26	0,20
<b>Lebrija</b>	53,94	-15,06	31,98	-5,20
<b>Palmas del Socorro</b>	35,18	-2,15	3,85	-1,13
<b>Rionegro</b>	38,74	7,80	87,04	-73,71
<b>San Benito</b>	17,80	0,38	-22,81	-66,78
<b>San Gil</b>	-8,14	-3,40	-35,54	-87,81
<b>San Vicente de Chucurí</b>	-0,42	-5,72	-40,83	-3,33
<b>Socorro</b>	-31,97	3,42	30,26	-12,68
<b>Suaita</b>	-18,75	-14,42	161,67	-13,76

Los municipios mantienen la irregularidad en la TFP que presentaba Santander en el análisis previo, Suaita logra el mayor porcentaje de crecimiento de 161,66% en productividad en el 2019, la mayor caída en TFP se da en San Gil en el 2020, con -87,81%. Girón tiene un gran descenso en TFP en el 2017, para mantener cierta estabilidad en los siguientes años. Lebrija intercala crecimiento y caída en esta ventana de 4 años, siendo la menor variación en el último año. Rionegro tiene crecimientos desde el 2017 al 2019, siendo estos de 38,73%, 7,79% y 87,04%, para luego caer en el último año, descendiendo un 73,71%. Estos dos últimos datos son

interesantes, puesto que un gran crecimiento no se ve acompañado de estabilidad, sino de una gran interrupción en el periodo siguiente. Barrancabermeja, San Vicente de Chucurí y San Gil tienen un desempeño negativo, empeorando su productividad en cada periodo.

Las variaciones en nivel de eficiencia, con los porcentajes de cambio de TFPE se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla 21**

*Variación TFPE en municipios*

<b>Municipio</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Barrancabermeja</b>	0,83	0,98	0,48	1,05
<b>Girón</b>	0,78	1,02	0,80	1,14
<b>Lebrija</b>	1,54	0,87	0,83	1,02
<b>Palmas del Socorro</b>	1,35	0,99	0,82	1,07
<b>Rionegro</b>	1,52	1,10	1,46	0,30
<b>San Benito</b>	1,18	1,02	0,61	0,36
<b>San Gil</b>	0,83	0,98	0,63	0,12
<b>San Vicente de Chucurí</b>	0,99	0,94	0,47	0,99
<b>Socorro</b>	0,68	1,07	1,03	0,89
<b>Suaita</b>	0,73	0,89	2,07	0,93

**Tabla 22***Variación porcentual de TFPE en municipios*

<b>Variación porcentual TFPE en municipios</b>				
<b>Municipio</b>	2017	2018	2019	2020
<b>Barrancabermeja</b>	-16,75	-2,06	-52,00	5,11
<b>Girón</b>	-21,87	1,71	-19,62	14,48
<b>Lebrija</b>	53,77	-13,43	-16,82	2,44
<b>Palmas del Socorro</b>	35,07	-0,83	-18,02	6,92
<b>Rionegro</b>	52,39	9,86	46,26	-69,96
<b>San Benito</b>	17,71	1,73	-39,07	-64,07
<b>San Gil</b>	-17,05	-1,75	-36,53	-87,52
<b>San Vicente de Chucurí</b>	-0,53	-6,06	-53,49	-1,04
<b>Socorro</b>	-32,03	6,61	2,82	-10,62
<b>Suaita</b>	-26,63	-11,13	106,56	-6,74

Las variaciones en el nivel de eficiencia en los municipios analizados se encuentran en un rango entre -87,52% y 106,55%, presentando la irregularidad y los cambios abruptos ya vistos en la TFP. Barrancabermeja, San Vicente de Chucurí y San Gil mantienen descensos de TFPE como en la métrica de productividad. Rionegro presenta el mismo crecimiento en TFPE y TFP, coincidiendo también en ambas métricas en el descenso, dando una primera orientación hacia la posible mayor influencia de la variación en eficiencia en la TFP, frente al nivel de tecnología MP, al menos en este municipio. Girón presenta variaciones negativas y positivas intercaladas, siendo

los descensos más grandes, en términos de valor absoluto 21,87% y 19,62% en 2017 y 2019, frente a ascensos en 1,70% y 14,48% en 2018 y 2020, respectivamente. En el caso de Lebrija, este municipio presenta cambios de 53,77%, -13,43%, -16,82% y 2,44% en cada año, donde el tercer valor que corresponde al 2019 no sería el principal factor en la variación de TFP, puesto que Lebrija presenta un crecimiento de TFP en 31,98%, contrastando con la caída en eficiencia, por lo cual el nivel de tecnología debería influenciar en mayor medida el cambio en este periodo.

Las variaciones en el nivel de tecnología, con sus respectivas variaciones porcentuales se muestran en la Tabla 23 y Tabla 24, respectivamente.

**Tabla 23**

*Variación MP en municipios*

<b>Municipio</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Barrancabermeja</b>	1,11	0,98	1,27	0,92
<b>Girón</b>	1,00	0,98	1,27	0,88
<b>Lebrija</b>	1,00	0,98	1,59	0,93
<b>Palmas del Socorro</b>	1,00	0,99	1,27	0,92
<b>Rionegro</b>	0,91	0,98	1,28	0,88
<b>San Benito</b>	1,00	0,99	1,27	0,92
<b>San Gil</b>	1,11	0,98	1,02	0,98
<b>San Vicente de Chucurí</b>	1,00	1,00	1,27	0,98
<b>Socorro</b>	1,00	0,97	1,27	0,98
<b>Suaita</b>	1,11	0,96	1,27	0,92

**Tabla 24***Variación porcentual MP en municipios*

<b>Variación porcentual MP en municipios</b>				
<b>Municipio</b>	2017	2018	2019	2020
<b>Barrancabermeja</b>	10,74	-1,69	26,68	-7,53
<b>Girón</b>	0,11	-1,69	27,22	-12,48
<b>Lebrija</b>	0,11	-1,88	58,68	-7,46
<b>Palmas del Socorro</b>	0,08	-1,33	26,68	-7,53
<b>Rionegro</b>	-8,96	-1,88	27,88	-12,48
<b>San Benito</b>	0,08	-1,33	26,68	-7,53
<b>San Gil</b>	10,74	-1,69	1,57	-2,31
<b>San Vicente de Chucurí</b>	0,11	0,36	27,22	-2,31
<b>Socorro</b>	0,08	-2,99	26,68	-2,31
<b>Suaita</b>	10,74	-3,70	26,68	-7,53

El rango de variaciones porcentuales de MP para el conjunto de municipios se encuentra entre -12,47% y 58,67%, siendo este menor al rango de variaciones de TFPE, dando una señal de la mayor dependencia en la influencia de la eficiencia en la productividad. Sin embargo, en las siguientes tablas se desagrega por municipios y las métricas ya calculadas. En este caso, se analizarán los datos correspondientes a los municipios de Girón, Lebrija y Rionegro, responsables de la mayor producción en el departamento.

**Tabla 25***Métricas de variables e índices en Girón*

<b>Año</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Área sembrada</b> <b>(hectáreas)</b>	3252	3343	3426	3276	3311,4
<b>Producción (toneladas)</b>	76218	63545	66473	62880	63685,6
<b>Rendimiento</b> <b>(toneladas/hectárea)</b>	26,44	20,28	20,22	20,65	20,7
<b>Variación TFP</b>		-21,79	-0,01	2,26	0,2
<b>Variación TFPE</b>		-21,87	1,71	-19,62	14,48
<b>Variación MP</b>		0,11	-1,69	27,22	-12,48

En el caso de Girón, la caída en la TFP de 21,79% del año 2017 se ve influenciada en mayor medida por la variación negativa de la TFPE (-21,87%), donde a pesar de haber un incremento en área sembrada, la producción se ve mermada, cayendo un 16,62%, y en consecuencia disminuyendo el rendimiento. Para el 2018, la TFP disminuye apenas en 0,01%, aunque se presenta un crecimiento en eficiencia y un descenso en tecnología. En el 2019 la productividad asciende en 2,26%, pero la TFPE disminuye en 19,62%, mientras la MP crece un 27,22%. En el último año, hay un crecimiento leve en la TFP (0,20%), acompañado de un ascenso en eficiencia (14,48%), y un descenso en nivel de tecnología (-12,48%). En el 2019, el nivel de tecnología tiene mayor influencia sobre la TFP, mientras que la eficiencia tiene mayor peso en el último año.

**Tabla 26***Métricas de variables e índices en Lebrija*

<b>Año</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Área sembrada</b> <b>(hectáreas)</b>	4490	4684	5026	4877	5024
<b>Producción (toneladas)</b>	42080	80333	73218	93770	91713,25
<b>Rendimiento</b> <b>(toneladas/hectárea)</b>	14,37	18,25	16,63	19,77	19,23
<b>Variación TFP</b>		53,94	-15,06	31,98	-5,2
<b>Variación TFPE</b>		53,77	-13,43	-16,82	2,44
<b>Variación MP</b>		0,11	-1,88	58,68	-7,46

En el caso de Lebrija, la TFPE impulsa la variación de productividad en 2017 y 2018, con un incremento y descenso en esta métrica, respectivamente. En 2019 y 2020, la TFP se ve influenciada en mayor medida por el nivel de tecnología. La variación en TFP en el municipio es irregular, aunque con caídas porcentuales menores a los crecimientos. Contrastando el primer y último periodo, el área sembrada incrementa en 11,89% y la producción crece en 117,94%, existe mejora en el rendimiento, como lo demuestran los incrementos porcentuales en TFP, mayores a sus descensos.

**Tabla 27***Métricas de variables e índices en Rionegro*

<b>Año</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

<b>Área sembrada</b>	6976	6640	6619	6553	6507,3
<b>(hectáreas)</b>					
<b>Producción (toneladas)</b>	60101	79366	85963	156940	40970,01
<b>Rendimiento</b>	13,33	13,63	14,10	27,90	6,35
<b>(toneladas/hectárea)</b>					
<b>Variación TFP</b>		38,74	7,8	87,04	-73,71
<b>Variación TFPE</b>		52,39	9,86	46,26	-69,96
<b>Variación MP</b>		-8,96	-1,88	27,88	-12,48

Para Rionegro, se producen incrementos en TFP desde el 2017 al 2019. Sin embargo, en el 2020 tiene un gran descenso. Los crecimientos en TFP vienen acompañados de una mejora en producción y rendimiento, sin depender de un crecimiento en el número de hectáreas de área sembrada. El municipio logra una mayor producción a pesar de un descenso en área sembrada. La eficiencia es la principal responsable de las variaciones en TFP, tanto las positivas en el periodo 2017-2019, como en la caída del 2020. La maximización del producto a partir de recursos limitados, e incluso decrecientes, se cumple en Rionegro.

En la Tabla 28, se observa la evolución promedio en los índices de TFP en el conjunto de los 10 municipios analizados.

**Tabla 28**

*Promedio de las variaciones de TFP, MP y TFPE en los municipios*

<b>Año</b>	<b>TFP</b>	<b>MP</b>	<b>TFPE</b>
<b>2017</b>	1,02	1,00	1,02

<b>2018</b>	0,96	0,98	0,98
<b>2019</b>	1,05	0,83	1,27
<b>2020</b>	0,61	0,66	0,93

La eficiencia es la responsable de los crecimientos en productividad en 2017 y 2019, mientras que en los descensos de TFP, el decrecimiento en tecnología explica en mayor medida este comportamiento. Sin embargo, en el 2018 los valores de TFPE y MP son bastante similares, ambos contribuyen casi con el mismo peso en el descenso de productividad. Para el año 2020, el descenso en productividad es impulsado por el nivel de tecnología, aunque la eficiencia también disminuye. Los resultados en los municipios estudiados difieren en la justificación de la mayor importancia de la eficiencia en las variaciones de productividad, puesto que en el periodo 2020 es clara la mayor influencia del nivel de tecnología en el descenso presentado.

Como se mostró anteriormente, el incremento de área destinada al cultivo de cítricos en Santander no se traducía en un mayor rendimiento o mejoras en eficiencia y productividad, es claro que las áreas recientemente sembradas no aportan una producción significativa debido a la juventud del cultivo, pero a mediano plazo se observan rendimientos por debajo de otros departamentos, o caídas en eficiencia.

Así, se retoma lo enunciado por Latruffe et al. (2004), quienes encontraron una relación directamente proporcional entre eficiencia y extensión de tierra, indicando que la integración con el mercado influye en esta métrica. Sin embargo, esta afirmación no se cumple en esta investigación, al menos en primera instancia. Tomando lo concluido por Helfand y Levine (2004), donde la relación extensión de tierra con eficiencia es más compleja, donde el mercado, la tecnología y el acercamiento a las instituciones es fundamental en el comportamiento de la

eficiencia. En este caso puntual, donde el departamento de Santander posee el mayor número de hectáreas dedicadas al cultivo de cítricos, cabe señalar las cifras del tamaño de las explotaciones de cítricos según el MADR (2021), donde los grandes productores del núcleo de Occidente (Antioquia o Valle) poseen alrededor de 600 hectáreas y los pequeños en torno a 20 ha., en contraposición con las 10 hectáreas y una ha., para grandes y pequeños productores del núcleo Nororiental (al que pertenece Santander). En este punto, la asociación entre productores y su integración al mercado podría ayudar a mejorar la eficiencia de los cultivos. Wadud et al. (2000), señalaban la importancia de la tecnificación en los grados de ineficiencia de los cultivos, en ese caso, la electrificación y la infraestructura de irrigación. O'Donnell (2010), señala que decisiones gubernamentales de asistencia al agricultor como el acceso a préstamos e incentivos influyeron en el comportamiento de la TFP en Nueva Zelanda en la década de 1970. Parra-Peña, Puyana & Yepes (2021), recogen sugerencias tanto de políticas públicas como de buenas prácticas del productor, donde resaltan el uso adecuado de la tierra según la vocación de esta, ya sea agricultura, ganadería o silvicultura, entre otras, puesto que 17 millones de hectáreas presentan sobreutilización y 14 millones de hectáreas son subutilizadas. Este puede ser un factor importante en las caídas de eficiencia y productividad. Además, los autores señalan que la planificación de un cultivo debe estar ligada a la existencia de demanda, delimitación de zonas para ciertos cultivos y siguiendo planes estructurados del Ministerio de Agricultura, con ayuda de entidades como ProColombia. Por ello, el conjunto de políticas públicas, la integración con los mercados, la planificación de los cultivos, además del cumplimiento de características de suelo, acceso a tecnología, selección de variedades y requisitos nutricionales del cultivo influyen positivamente en el comportamiento de la eficiencia y la productividad en el sector citrícola.

## 9. Conclusiones

A partir de la literatura consultada y de los antecedentes, se puede constatar que la metodología DEA y el índice de Hicks-Moorsteen son bastante útiles para medir la eficiencia y productividad en la industria, dentro del subgrupo de medidas de estimación de productividad a partir de Productividad Total de los Factores (TFP) observándose que, en el objeto de estudio de la presente investigación, el sector agrícola, se encuentran diversas aplicaciones en estudios a pequeña escala con cultivos específicos y a nivel macro en comparativas entre diferentes países. Así como adaptaciones posibles según la información disponible en fuentes secundarias y bases de datos de entidades oficiales como el DANE, la FAO o EUROSTAT.

Las variaciones en eficiencia son las principales responsables del comportamiento en productividad del sector citrícola en el departamento de Santander. Esto, obtenido a partir del análisis de los componentes del índice de Hicks-Moorsteen, metodología que permite observar los cambios en productividad para la serie de variables analizadas: área sembrada (hectáreas) como insumo, producción (toneladas) y rendimiento (toneladas/hectárea) como productos. Al trabajar con una variable en los insumos, en este caso la cantidad de área destinada al cultivo depende de su correcta utilización el obtener la mayor cantidad de fruto posible y da lugar a maximizar la producción a partir de la tierra que se dispone. Tomando la diferenciación que hacen Rada y Valdes (2012), del sector agrícola frente a otros renglones de la economía, donde la tierra es uno de los factores principales en la producción y su eficiencia depende del acceso, buen uso, fertilidad y localización. Así, en un cultivo cuya mayor producción y predominancia se da en Santander, por su ubicación geográfica y condiciones climáticas, donde el triángulo de producción se encuentra en los municipios de Rionegro, Girón y Lebrija, en primera instancia, el maximizar el uso de la

tierra en torno al cultivo de cítricos es el principal determinante en la mejora de eficiencia y productividad.

### **10. Recomendaciones**

Como sugerencias a partir del presente trabajo, análisis complementarios centrados en las zonas productivas de Santander, con variables y su impacto en productividad, como la cantidad de empleos generados, la proporción de pérdidas durante el cultivo o en postcosecha, la influencia de fenómenos naturales como el Niño y la Niña, cuya incidencia en el sector agrícola de la región Andina se torna cada vez más preocupante, donde niveles atípicos de precipitaciones o sequías perjudican el nivel de producción, alterando el periodo de floración y dando pérdidas al productor. Otro factor importante para tener en cuenta es la incidencia del Huanglongbing (HLB) en Colombia, lo cual podría suponer caídas abruptas en productividad en las zonas donde tenga presencia la enfermedad. También es relevante evaluar las variables asociadas a características socioeconómicas de pequeños productores o explotaciones familiares en el departamento.

Para finalizar, es necesaria la creación y promoción de más iniciativas como el Clúster de Cítricos de Antioquia, bajo la coordinación de la Cámara de comercio de Medellín o el proyecto raíz de esta investigación: Diseño de un laboratorio vivo rural para el fortalecimiento de la competitividad y sostenibilidad del sector citrícola Santander. Entre los sectores público y privado, donde el primero se encarga de la generación y formulación de políticas e investigación, mientras que el segundo es el enlace al mercado. Así, la formulación de proyectos de integración de este tipo es fundamental en la sostenibilidad de un sector que posee grandes oportunidades a nivel de producción y comercialización.

**Referencias bibliográficas**

- Aparicio, J., López-Torres, L., & Santín, D. (2018) Economic crisis and public education. A productivity analysis using a Hicks-Moorsteen index. Volume 71, 34-44, <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2017.11.017>.
- Agrosavia (2021) Agrosavia producirá controlador biológico para afrontar el HLB, la enfermedad que está acabando con los cultivos de cítricos en Colombia. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/AGROSAVIA-producir%C3%A1-controlador-biol%C3%B3gico-para-afrontar-el-HLB,-la-enfermedad-que-est%C3%A1-acabando-con-los-cultivos-de-c%C3%ADtrico.aspx>
- Banco Mundial (2022) Agricultura, valor agregado (% del PIB) – Colombia. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=CO>
- Becerril-Torres, O. U., Licea, G. R., & Jesús Ramírez Hernández, J. (2011). Eficiencia técnica del sector agropecuario de México: Una perspectiva de análisis envolvente de datos. 85–110.
- Blackburn, V., Brennan, S., Ruggiero, J.: Nonparametric Estimation of Educational Production and Costs Using Data Envelopment Analysis. In: International Series in Operations Research & Management Science. Springer (2014).
- Buitrago Suescú, O. Y., Espitia Cubillos, A. A., & Molano García, L. (2017). Análisis envolvente de datos para la medición de la eficiencia en instituciones de educación superior: una revisión del estado del arte. *Revista Científica General José María Córdova*, 15(19), 147. <https://doi.org/10.21830/19006586.84>

- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Chen, P.-C., Yu, M.-M., Chang, C.-C., & Hsu, S.-H. (2008). Total factor productivity growth in China's agricultural sector. *China Economic Review*, 19(4), 580–593. doi:10.1016/j.chieco.2008.07.001
- Coelli, T. J., & Rao, D. S. P. (2005). Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980-2000. *Agricultural Economics*, 32(s1), 115–134. doi:10.1111/j.0169-5150.2004.00018.x
- Dakpo K.H., Desjeux Y. & Latruffe L. (2018). productivity: Indices of Productivity and Profitability Using Data Envelopment Analysis (DEA). R package version 1.1.0.
- Deng, G., Li, L., & Song, Y. (2016). Provincial water use efficiency measurement and factor analysis in China: Based on SBM-DEA model. *Ecological Indicators*, 69, 12–18. doi:10.1016/j.ecolind.2016.03.052
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. DANE. (2019) Encuesta nacional agropecuaria (ENA) Históricas. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>
- De Koeijer, T. J., Wossink, G. A. A., Struik, P. C., & Renkema, J. A. (2002). Measuring agricultural sustainability in terms of efficiency: The case of dutch sugar beet growers. *Journal of Environmental Management*, 66(1), 9-17. doi:10.1006/jema.2002.0578
- Diewert, W., & Nakamura, A. (2005). Concepts and Measures of Productivity: An Introduction.
- Dios-Palomares, R., Alcaide, D., Diz, J., Jurado, M, Prieto, A. ;, Morantes, M., & Zúñiga, C. ; (2015). Análisis de la eficiencia de sistemas agropecuarios en américa latina y el caribe

- mediante la incorporación de aspectos ambientales. *Revista Científica*, XXV, 43–50.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95934122007>
- Dhungana, B. R., Nuthall, P. L., & Nartea, G. V. (2004). Measuring the economic inefficiency of nepalese rice farms using data envelopment analysis. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 48(2), 347-369. doi:10.1111/j.1467-8489.2004.00243.x
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. In Source: *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* (Vol. 120, Issue 3).
- Ferro, G., & Romero, C. A. (2011). Las aproximaciones de Malmquist y Luenberger en una aplicación al mercado de seguros. HAL.
- Fraser, I., & Cordina, D. (1999). An application of data envelopment analysis to irrigated dairy farms in northern victoria, australia. *Agricultural Systems*, 59(3), 267-282.  
doi:10.1016/S0308-521X(99)00009-8
- Gómez-Limón, J. A., Picazo-Tadeo, A. J., & Reig-Martínez, E. (2012). Eco-efficiency assessment of olive farms in andalusia. *Land use Policy*, 29(2), 395-406.  
doi:10.1016/j.landusepol.2011.08.004
- Heidari, M. D., Omid, M., & Mohammadi, A. (2012). Measuring productive efficiency of horticultural greenhouses in Iran: A data envelopment analysis approach. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 1040–1045.
- Helfand, S., & Levine, E. (2004). Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West. *Agricultural Economics*, 31(2-3), 241–249. doi:10.1016/j.agecon.2004.09.021

- Hoang, V.N. 2011. Measuring and decomposing changes in agricultural productivity, nitrogen use efficiency and cumulative exergy efficiency: application to OECD agriculture. *Ecological Modelling*, 222, 164-175
- Kuosmanen, T. (2005). Weak disposability in nonparametric production analysis with undesirable outputs. *American Journal of Agricultural Economics*, 87(4), 1077-1082. doi:10.1111/j.1467-8276.2005.00788.x
- Latruffe \*, L., Balcombe, K., Davidova, S., & Zawalinska, K. (2004). Determinants of technical efficiency of crop and livestock farms in Poland. *Applied Economics*, 36(12), 1255–1263. doi:10.1080/0003684042000176793
- Leal, C., & Cepeda, J. (2013). El uso de la metodología DEA (Data Envelopment Analysis) para la evaluación del impacto de las TIC en la productividad del sector hotelero. <https://doi.org/10.4000/viatourism.996>
- Loizou, E., Karelakis, C., Galanopoulos, K., & Mattas, K. (2019). The role of agriculture as a development tool for a regional economy. *Agricultural Systems*, 173, 482–490. doi:10.1016/j.agry.2019.04.002
- Martin, J., & López, M. P. (2007). La medida de la eficiencia en las organizaciones sanitarias. *Presupuesto y Gasto Público*, 49(2007), 139–161.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Oficina de Estudios Económicos (2022). *Perfiles Económicos Departamentales*. Departamento de Santander
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Dalgaard, T., Knudsen, M. T., Keyhani, A., . . . Hermansen, J. E. (2013). Potential greenhouse gas emission reductions in soybean farming: A combined use of life cycle assessment and data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, 54, 89-100. doi:10.1016/j.jclepro.2013.05.019

- Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A., & Mohammadi, A. (2011). Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Energy*, 36(5), 2765-2772. doi:10.1016/j.energy.2011.02.016
- Muangprathub, J., Boonnam, N., Kajornkasirat, S., Lekbangpong, N., Wanichsombat, A., & Nillaor, P. (2019). IoT and agriculture data analysis for smart farm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 467–474. doi: 10.1016/j.compag.2018.12.011
- Nassiri, S. M., & Singh, S. (2009). Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. *Applied Energy*, 86(7-8), 1320–1325. doi: 10.1016/j.apenergy.2008.10.007
- O'Donnell, C. J., Rao, D. S. P., & Battese, G. E. (2008). Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios. *Empirical Economics*, 34(2), 231-255. doi:10.1007/s00181-007-0119-4
- O'Donnell, C.J. (2010). Measuring and decomposing agricultural productivity and profitability change. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 54, 527-560.
- O'Donnell, C. J. (2012). An aggregate quantity framework for measuring and decomposing productivity change. *Journal of Productivity Analysis*, 38(3), 255–272. <https://doi.org/10.1007/s11123-012-0275-1>
- Parra-Peña, R. I., Puyana, R. & Yepes, F. (2021). Análisis de la productividad del sector agropecuario en Colombia y su impacto en temas como: encadenamientos productivos, sostenibilidad e internacionalización, en el marco del programa Colombia más competitiva. Bogotá: Fedesarrollo, marzo. Incluye resumen ejecutivo y anexos.
- Peñaloza, C. (2004). Evaluación de la Eficiencia en Instituciones Hospitalarias públicas y privadas con Data Envelopment Analysis (DEA). Departamento Nacional de Planeación.

- Perera, H. (2018). Eficiencia y productividad hospitalaria en Costa Rica: modelo DEA e índice de Hicks-Moorsteen.
- Picazo-Tadeo, A. J., Gómez-Limón, J. A., & Reig-Martínez, E. (2011). Assessing farming eco-efficiency: A Data Envelopment Analysis approach. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1154–1164. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.11.025
- Povedo, W., Arango, C., & Pinzón, W. (2018). Eficiencia técnica de la cosecha de papa en Boyacá, Colombia, usando análisis envolvente de datos – DEA.
- Pumisacho, V., & Alvarado, K. (2018). Evaluación de eficiencia y productividad de PyMEs productivas usando análisis envolvente de datos e índice Malmquist. *Revista Espacios*, 39, 10.
- Rada, N. & C. Valdes. (2012). Policy, Technology, and Efficiency of Brazilian Agriculture, ERR- 137, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Rusielik, R. (2021). Agricultural Productivity in Europe: Hicks-Moorsteen Productivity Index Analysis. *European Research Studies Journal*. XXIV. 397-409. 10.35808/ersj/2664.
- Secretaría de Agricultura de Santander. (2020). Plan departamental de extensión agropecuaria 2020-2023.  
<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/Santander.pdf>
- Shepard, R. (1953). *Cost and Production Functions*. Princeton University Press, Princeton.
- Speelman, S., D'Haese, M., Buysse, J., & D'Haese, L. (2008). A measure for the efficiency of water use and its determinants, a case study of small-scale irrigation schemes in north-west province, south africa. *Agricultural Systems*, 98(1), 31-39. doi:10.1016/j.agsy.2008.03.006

- Tang, X., Wang, J., Zhang, B., & Zhang, L. (2017). Application of the DEA on the performance evaluation of the agricultural support policy in China. *Agricultural Economics (Czech Republic)*, 63(11), 510–523. <https://doi.org/10.17221/120/2016-AGRICECON>
- Thompson, R. G., Langemeier, L. N., Lee, C. -, Lee, E., & Thrall, R. M. (1990). The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to kansas farming. *Journal of Econometrics*, 46(1-2), 93-108. doi:10.1016/0304-4076(90)90049-Y
- Valencia, K., & Duana, D. (2019). Los cítricos en México: análisis de eficiencia técnica (Citrus in Mexico: Technical Efficiency Analysis). *Análisis Económico*, 34(87), 269–283. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2019v34n87/ValenciaS>
- Vázquez-Rowe, I., Villanueva-Rey, P., Iribarren, D., Teresa Moreira, M., & Feijoo, G. (2012). Joint life cycle assessment and data envelopment analysis of grape production for vinification in the Rías Baixas appellation (NW Spain). *Journal of Cleaner Production*, 27, 92–102. doi:10.1016/j.jclepro.2011.12.039
- Vega, G., Ávila, J., Vega, A., Camacho, N., Becerril, A., & Leo, G. (2014). Paradigmas en la investigación. Enfoque cuantitativo y cualitativo.
- Vlontzos, G., Niavis, S., & Manos, B. (2014). A DEA approach for estimating the agricultural energy and environmental efficiency of EU countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 91–96. doi:10.1016/j.rser.2014.07.153
- Wadud, A., & White, B. (2000). Farm household efficiency in Bangladesh: a comparison of stochastic frontier and DEA methods. *Applied Economics*, 32(13), 1665–1673. doi:10.1080/000368400421011
- Xirinachs, Y. (2012). Frontera Eficiente de Producción en el Primer Nivel de Atención en Salud: Modelo DEA ajustado por Métodos Bayesianos. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Zheng, G. (2014). Methods of agricultural support measurement in China. Available Online  
[www.Jocpr.Com](http://www.Jocpr.Com) Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 6(7), 251–255.  
[www.jocpr.com](http://www.jocpr.com)