



Eficiencia en los alimentos transportados en Colombia y su relación con las emisiones de gases de efecto invernadero durante el periodo 2019 a 2022

Camila Gomez Bacca

Pontificia Universidad Javeriana Facultad
de Ciencias Económicas y Administrativas

Cali- Valle del Cauca
2023

Eficiencia en los alimentos transportados en Colombia y su relación con las emisiones de gases de efecto invernadero durante el periodo 2019 a 2021

Camila Gomez Bacca

Director

Sebastian Lopez Ph.D

Pontificia Universidad Javeriana Facultad
de Ciencias Económicas y Administrativas

Cali- Valle del Cauca
2023

Contenido

<u>Resumen</u>	4
<u>Introducción</u>	4
<u>Objetivos de investigación</u>	9
<u>Marco teórico</u>	10
<u>Metodología</u>	13
<u>Enfoque empírico</u>	17
<u>Resultados</u>	18
<u>Conclusiones</u>	28
<u>Bibliografía</u>	32

Resumen

El transporte de alimentos hace parte de un problema global que presenta importantes desafíos en términos de eficiencia, calidad y sostenibilidad, debido a las emisiones de CO₂ por el número de kilómetros que recorren los alimentos para llegar a los centros de abastecimiento. Este estudio mide la eficiencia en el transporte de alimentos con base en los kilómetros recorridos, emisiones de CO₂, cantidades de alimentos transportados, de los 21 centros de abastecimientos en las principales ciudades del país; tomados durante los años 2019, 2020 y 2021. Lo anterior, se realiza aplicando una metodología con enfoque no paramétrico, se emplea un beneficio de la duda con funciones de distancia direccional, el cual calcula indicadores compuestos con base en múltiples variables de resultado. Los resultados muestran dos principales hallazgos. Primero, se identifica que los 21 centros de abastecimiento estudiados en la investigación tienen un nivel de eficiencia del 58% en promedio. Segundo, se identifican menores niveles de eficiencia en los centros de abastecimiento que están ubicados en el norte del país, 23,3%, que se traduce en un potencial de mejora promedio del 76,7% en promedio, esto está relacionado con la mayor distancia a los municipios considerados como despensas agrícolas de Colombia y a un menor desarrollo en la infraestructura vial, en contraste con esta información los municipios ubicados en departamentos con mayor diversidad agrícola presentan altos niveles de eficiencia, 98%. Esto parece indicar que en la medida que los departamentos o regiones ofrecen una mayor diversidad agrícola y los alimentos recorren menores kilómetros para llegar a los centros de abastecimientos mayor será su indicador de eficiencia, con un menor efecto en emisiones de CO₂.

Introducción

Los sistemas alimentarios se pueden definir como un grupo de distintos actores funcionales tanto socioeconómicos y culturales, los cuales están relacionados entre sí, como la producción, el transporte, la agroindustria, la comercialización, el comportamiento de los consumidores finales, e infraestructura disponible. Es importante entender cómo se interrelacionan y llegar a identificar, a partir de las mediciones existentes, alguna posible solución que garantice la disponibilidad de alimentos a la población de manera eficiente, sostenible y amigable con el medio ambiente.

Ahora bien, es necesario entender que los sistemas alimentarios conllevan una serie de retos significativos los cuales son, la existencia de brechas en el nivel de ingreso, monocultivos,

formas de producción insostenibles a largo plazo, seguridad alimentaria, ineficiencia en los alimentos transportados, desigualdades en el acceso de alimentos, globalización y sistemas alimentarios locales. Un buen manejo de estos factores es una condición necesaria para garantizar la seguridad alimentaria de la población (FAO, 2022).

Una parte fundamental de los sistemas alimentarios es su movilidad, el transporte de alimentos permite que los productos agrícolas y alimentos procesados lleguen a regiones donde no se producen localmente. Esto aumenta la disponibilidad de alimentos frescos y variados en más zonas de un territorio y permite a las personas acceder a una dieta más diversificada. Así mismo el transporte eficiente de alimentos puede reducir el desperdicio de alimentos al garantizar que los productos lleguen a su destino antes de que se deterioren o caduquen. Sin embargo, también puede contribuir al desperdicio si no se gestiona adecuadamente debido a pérdidas durante el transporte. Existe un consenso en la comunidad científica y las organizaciones internacionales, como la FAO o el Panel Intergubernamental para la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (IPBES), sobre la necesidad de cambiar el sistema agroalimentario actual, dominado por la intensificación convencional, hacia un sistema de mayor sustentabilidad ecológica, social y económica. Ahora bien, un porcentaje elevado de los alimentos producidos se pierde a lo largo de la cadena de producción y consumo y otro tanto es destinado a la alimentación de ganado o a la generación de energía (biocombustibles) (Cassidy et al. 2013).

A nivel mundial, aproximadamente, un tercio de los alimentos producidos se estropea o se desperdicia y nunca es consumido por las personas (Gustavsson et al. 2011). Sin embargo, más comida es desperdiciada por personas en el mundo industrializado que en los países en desarrollo (Gustavsson et al. 2011). Por ejemplo, el desperdicio de comida por los consumidores en Europa y Norteamérica se encuentra entre 95-155 kilos por persona y por año, mientras que en África subsahariana y el Sud y Sudeste Asiático esta cifra es tan sólo de 6-11 kilos (Gustavsson et al. 2011). En los países industrializados la mayor proporción del desperdicio ocurre en la etapa de consumo, mientras que los países en vías de desarrollo presentan una mayor proporción de sus desperdicios en la etapa de la producción agropecuaria (Parfitt et al. 2010). Los requerimientos de calidad de los consumidores en los países desarrollados son tan altos que ejercen presión sobre el sistema, promoviendo el desperdicio. Muchas veces se desechan alimentos como frutas y hortalizas que cumplen con todos los requerimientos nutricionales, pero no tienen la forma, color y tamaño deseado por el

consumidor final. El desecho de alimentos ocurre por ejemplo a través de las cadenas de supermercados cuando el alimento no se vende y se pone en mal estado, así como en restaurantes, en medios de transporte que ofrecen comida, y en casas de familias.

Esto representa no solo la pérdida del alimento, sino también la pérdida de todos los insumos como mano de obra, agua, energía y tierra que fueron utilizados en dicha producción agrícola (Foley et al. 2011). Este desperdicio tiene un impacto que se extiende más allá de lo económico, ya que el alimento producido que no es consumido contribuye a la degradación del suelo, contaminación del agua, emisión de gases de efecto invernadero, y pérdida de la biodiversidad (Foley et al. 2011). Dicho impacto ambiental deberá también ser absorbido por las generaciones futuras.

Por esto es importante tener en cuenta la distribución de los alimentos, es decir de qué manera y que tan eficiente es la distribución ya que es necesaria para mejorar la productividad agropecuaria tanto urbana como rural, para contribuir con la cantidad y éxito en la distribución de alimentos a los diferentes grupos sociales, paralelo al desarrollo y el acceso a mercados, servicios públicos, en especial de fuentes de agua e irrigaciones, mantenimiento de la infraestructura rural y telecomunicaciones (Torres, 2015).

Por ende, la existencia de sistemas de transporte y comunicaciones eficientes y sostenibles es importante en este sistema. Además, en las últimas décadas, la actividad humana ha aumentado el uso de los combustibles fósiles, lo que implica un incremento en la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero que afectan al cambio climático.

El cambio climático tiene un impacto significativo en el sistema alimentario a nivel mundial. Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático “*Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*” (2014), se espera que el cambio climático afecte la disponibilidad, el acceso, la nutrición y la estabilidad de los alimentos, lo que resultará en alimentos más caros, menos nutritivos y interrupciones en la cadena de distribución. Además, se prevé que el cambio climático empeore las condiciones de vida de agricultores, pescadores y quienes dependen de los bosques, lo que aumentará el hambre y la inseguridad alimentaria (Quiñones, 2021).

La distribución de los alimentos produce grandes cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero debido al alto consumo de combustible por unidad de distancia recorrida; es

importante reducir la distancia que recorren los alimentos y fomentar prácticas de producción y consumo más sostenible dado que el sector alimentario emite cada año más de 17 mil 318 toneladas métricas de emisiones de gases de invernadero (Meng Q. 2017).

Los factores que regulan la nutrición humana incluyen dimensiones ecológicas, sociales, políticas y económicas. La intensificación convencional se concentra en incrementar la producción agrícola a partir de insumos externos (como insecticidas o fertilizantes) aplicados a monocultivos, lo cual no necesariamente provee mayor nutrición humana ni seguridad alimentaria. Es necesario incorporar las dimensiones socioeconómicas para aumentar la disponibilidad de alimento, su acceso y utilización mientras que se promuevan los servicios ambientales, es decir, los beneficios que obtenemos de los ecosistemas a través de la biodiversidad (Garibaldi et al. 2018). Como el aumento de la producción agrícola no necesariamente significa que los problemas nutricionales globales se reducirán (Garibaldi et al. 2018), necesitamos otras opciones a la expansión agropecuaria y la intensificación convencional.

El estudio de los sistemas alimentarios es fundamental para el desarrollo económico, ambiental, y social, cuando se realizan enfoques en la eficiencia se resaltan principalmente las dos razones mencionadas. Primera, la distribución equitativa de alimentos y así mismo el no desperdicio de enormes cantidades de estos, dado que una parte considerable de los alimentos producidos se desperdician en diferentes etapas de la cadena alimentaria. Segunda, la mitigación de impactos ambientales dado que es esencial avanzar a prácticas más sostenibles, las altas emisiones de gases de efecto invernadero trae consigo el cambio climático, el cual da lugar a la pérdida de cultivos, la disminución de la productividad agrícola, y la alteración de las cadenas alimentarias.

En Colombia, una de las características centrales de nuestro sistema alimentario es ser abastecido por un gran número de productores a lo largo y ancho de la geografía del país, mediante una producción en cientos de miles de parcelas, que, en distintas condiciones climáticas, ofrece una amplia gama de alimentos. El transporte de alimentos se realiza principalmente por carretera, lo que es costoso y presenta desafíos logísticos en áreas remotas o de difícil acceso. Además, la falta de infraestructura adecuada y la seguridad en las carreteras afectan la calidad y la frescura de los alimentos durante el transporte, sin embargo, se ha logrado conectar inter regionalmente los mercados conformando un mercado nacional que transmite información de precios y pone a circular alimentos a lo largo de múltiples redes. Las

centrales de abastos de las grandes ciudades, y algunos centros de acopio regionales, cumplen el papel de redistribuir la oferta alimentaria regional y nacionalmente (Forero, 2015). Por esto es crucial lograr una eficiencia en los recorridos, en kilómetros, de las cantidades de estos alimentos, por el efecto que genera en el medio ambiente. Es importante poder identificar cuáles de las centrales de abastecimientos de mercado son las más eficientes en términos de transporte y cantidad de alimentos que logran ofertar, facilitando el acceso de los alimentos a los consumidores, de la mano de la sostenibilidad.

Alrededor de la producción, distribución, consumo y aprovechamientos de los alimentos, hay diversos análisis e inter prestaciones y aunque no se conocen estudios concluyentes a partir de las variables que se han identificado como factores determinantes en la eficiencia y sostenibilidad alimentaria, debido a la debilidad en la construcción y existencias de bases de datos históricas; al margen de esta situación, lo que se pretende en este trabajo es calcular el indicador de eficiencia en 21 centros de abastecimiento de 21 municipios de Colombia y aproximarse a una propuesta de mejora de la eficiencia en el abastecimiento con un menor impacto ambiental.

Llegar a obtener un indicador de eficiencia en los centros de abastecimientos en las principales ciudades del país permitirá identificar las oportunidades que cada ciudad pueda tener en la implementación de programas que promuevan una oferta agrícola y pecuaria disminuyendo de esa manera los recorridos que tenga que realizar los alimentos promoviendo una mejor seguridad alimentaria y contribuyendo a una mayor conservación del medio ambiente. Lo que nos lleva a preguntarnos ¿Cuáles son los centros de abastecimientos con mayor eficiencia en Colombia y los cuales contribuyen a una disminución de las emisiones de CO₂ ?

Objetivos de investigación

El objetivo general de esta investigación es estimar la eficiencia de las centrales de abasto calculada considerando los alimentos transportados en Colombia, la cantidad de emisiones de CO₂ que son emitidas y los kilómetros que viajan estos alimentos a su destino . Lo anterior, se llevará a cabo a través de los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los diferentes centros de abastecimiento considerando las toneladas de alimentos, los kilómetros recorridos y las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Estimar la eficiencia de los centros de abastecimientos en Colombia considerando variables de entorno económico e institucionales.

- Comparar los centros de abastecimiento en función de la eficiencia estimada y el municipio de localización.

Estos objetivos tienen relevancia debido principalmente a que se carece de una medida de eficiencia de las centrales de abasto en función de los alimentos transportados, la cual permita satisfacer las necesidades de la población manera efectiva, especialmente en áreas donde puede haber escasez o limitaciones en la producción local, por esto es importante tener en cuenta este tipo de indicadores, ya que puede motivar la diversificación de alimentos y fomentar la producción local.

Marco teórico

La literatura sobre el sistema alimentario es amplia, teniendo en cuenta que es un problema socioeconómico global, sin embargo aunque existe una amplia información, esta información no está conectada entre sí, es decir, hay expertos trabajando en nutrición, comercialización, distribución etc., pero no se alcanza a integrar la totalidad del sistema, la idea es analizar un sistema interconectado, de manera en la que se pueda empezar a conectar los procesos desde una mirada más amplia para lograr entender qué está pasando entre todos los actores del sistema alimentario.

Puesto que el transporte de alimentos es un aspecto importante dentro de los sistemas alimentarios ya que involucra una serie de actividades incluyendo el almacenamiento, la manipulación, el embalaje, la carga y descarga, el transporte y la entrega. Cada una de estas actividades puede afectar la calidad y la seguridad de los alimentos, y por lo tanto es importante tener en cuenta todos estos aspectos en el proceso de transporte y movilización y así mismo la eficiencia y sostenibilidad de estos (FAO, 2022).

Algo recurrente de estos trabajos es la mención de los factores más influyentes en el transporte y movilización de alimentos, explicado como un determinante la distancia entre el lugar de producción y el lugar de consumo, por esta razón, cuanto mayor sea la distancia mayor será el tiempo y el costo del transporte. En este sentido, se resalta que lo esencial es asegurar que los alimentos estén disponibles en el lugar y momentos adecuados, debido a que se puede afectar la calidad de estos y su obtención, por lo que es necesario que el sistema alimentario esté interconectado entre sí (Hsu, 2019).

La publicación *“Logistics network configuration: The solution for quality-related problems in long-distance transportation of mango in Indonesia”*; Según Kailaku S. (2022), los principales factores que afectan el rendimiento del transporte de la logística de alimentos percederos en particular, se toman las horas de operación del transporte se ajustan al tiempo de cosecha y al tiempo de apertura del mercado, la ruta de viaje se puede dividir en dos maneras sea utilizando la ruta más corta o más cercana y la carretera de peaje; tipo de vehículo depende de la escala de producción, la escala del pedido y la distancia del viaje; por esto es importante reducir la distancia recorrida por los alimentos mediante la implementación de estrategias como la producción local de alimentos, el uso de redes de distribución más eficientes, el transporte multimodal y el aprovechamiento de tecnologías de la información y la comunicación para mejorar la coordinación y planificación de la cadena de suministro.

De igual forma, Acevedo da Silva (2009) hace énfasis en los circuitos de proximidad, el cual se refiere al abastecimiento de alimentos en distancias cortas, exponiendo sus límites y su importancia social. Se puede deducir que la posición de los lugares dentro del sistema, al igual que la de los agentes, es importante en relación con su ubicación estratégica. En sociedades donde el autoconsumo es común, la producción y el consumo de alimentos suelen tener lugar en lugares cercanos o incluso superpuestos, y su control es ejercido por la familia o la comunidad, por lo tanto, se puede afirmar que el sistema alimentario tiene una organización socioespacial que es crucial para su funcionamiento.

En el marco de transporte de alimentos, se puede introducir el enfoque de sostenibilidad que fue propuesta en 1987 por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Cassen,1987), la cual busca satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas; por lo que es importante implementar iniciativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y minimizar el impacto ambiental del transporte de alimentos, considerando todo el ciclo de vida y calidad de los alimentos (Gamboa Bernal et al. 2022).

La literatura sobre cadenas de suministro "verdes" o "ambientales" (Carter et al.2008) sostiene que se debe tener en cuenta el impacto de las cadenas de suministro en el medio ambiente al tomar decisiones de gestión. Aunque las implicaciones ambientales de las cadenas de suministro son claramente importantes, el concepto de sostenibilidad es más amplio y debe incluir no sólo las dimensiones económicas y ambientales, sino también el impacto social de las operaciones de la cadena de suministro. En el contexto del transporte de alimentos, esto

implica considerar la eficiencia energética y la reducción de emisiones, así como el impacto social y económico en las comunidades locales y en toda la cadena de suministro.

En cuanto a las metodologías utilizadas para poder determinar los causales, en la literatura se hacen aproximaciones a estas a través de diferentes modelos económicos, sin embargo no hay un modelo específico que mida la eficiencia del transporte en alimentos de acuerdo a los kilómetros, toneladas de alimentos transportados y emisiones de gases de efecto invernadero generados, los proveedores de transporte que recorren más kilómetros por unidad de alimento transportado pueden ser menos eficientes energéticamente y, por lo tanto, generar más emisiones de gases de efecto invernadero de igual manera el tiempo que tarda un proveedor de transporte en entregar los alimentos puede ser una medida importante de su eficiencia.

Existen varios acercamientos interesantes a partir de los cuales sería posible trabajar y tomar como referencia es el modelo del beneficio de la duda inspirado en el DEA, utilizado por Nicky Rogge y colaboradores (2017) en el cual se evalúa el desempeño de la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) de las regiones NUTS 2 de la UE. Para ello, los autores utilizan un indicador compuesto que combina varios indicadores de desempeño, como la tasa de reciclaje, la tasa de compostaje y la tasa de incineración. En este caso, los autores utilizan el beneficio de la duda para dar mayor importancia a los indicadores en los que una región es particularmente fuerte.

En Colombia no existen trabajos los cuales calculen la eficiencia en los centros de abastecimientos, sin embargo, desde el punto de vista ambiental vale la pena destacar el estudio *“Calculation and analysis of agricultural carbon emission efficiency considering water–energy–food pressure”* (Wu, et al. 2014) por su proximidad a esta investigación. En el cual tomaron en cuenta la medición de la eficiencia de emisión de carbono agrícola (ACEE), como una herramienta para lograr de manera efectiva ayudar a medir los objetivos de desarrollo sostenible. Desde esta perspectiva, establecieron un nuevo marco de medición de ACEE que considera el índice de presión agua, energía y alimentos, en donde encontraron mucha margen de mejora en términos eficiencia.

Metodología

El método que va a seguir esta investigación es un estudio de tipo cuantitativo con enfoque de análisis de eficiencia, se utilizará una metodología la cual permite medir la eficiencia de los principales centros de abastecimientos en Colombia. El objetivo es analizar las variables de resultado en función del contexto de operación, identificando así posibles áreas de mejora. Se llevará a cabo un análisis de eficiencia técnica el cual permite medir la capacidad de un sistema o proceso para utilizar los recursos de manera óptima.

En esta sección se describe el modelo de ponderación del beneficio de la duda (BoD), se justifica su explicación y se ilustra la descomposición con base a las variables seleccionadas.

La técnica de ponderación Beneficio de la Duda (BoD) se basa en la metodología de Análisis de Envoltura de Datos (DEA) (Charnes et al. 1978), una técnica no paramétrica comúnmente empleada en la literatura de Ciencias de la Gestión e Investigación de Operaciones para medir la eficiencia. Básicamente, el modelo BoD se asemeja al modelo DEA en un contexto donde sólo se consideran las variables de resultado, sin tener en cuenta las entradas. Desde una perspectiva técnica, el modelo BoD es formalmente equivalente a la formulación de multiplicadores del modelo DEA, donde todos los indicadores de rendimiento se consideran salidas y se introduce una "entrada ficticia" igual a uno para todas las observaciones (Rogge et al. 2017).

Ahora bien, el modelo BoD, cuando se consideran funciones de distancia direccional, permite maximizar los indicadores deseables y minimiza los indicadores no deseables. Uno de los supuestos clave del modelo BoD estándar es que todos los indicadores de rendimiento y ($i = 1, \dots, q$) son "deseables", lo que significa que valores mayores indican mejores logros. Sin embargo, muchas aplicaciones prácticas también involucran indicadores de rendimiento que son "no deseables" en el sentido de que valores más altos corresponden a un peor rendimiento (Mosnier et al. 2023).

Por esto, la técnica Beneficio de la Duda (BoD) ha sido propuesta en una versión direccional por Fusco (2015) y Zanella et al. (2015) con el fin de construir Índices de Competitividad (CIs) considerando indicadores de rendimiento deseables y no deseables. Este enfoque se fundamenta en los modelos de funciones de distancia direccional presentados en la literatura de medición de eficiencia por Chung et al. (1997), permitiendo la búsqueda simultánea de mejoras en ambos tipos de indicadores. Específicamente, en la

búsqueda de mejoras en el rendimiento, se busca contraer las variables no deseables y expandir las deseables, con un vector de dirección especificando la dirección exacta en la que se pueden buscar mejoras.

Por tanto, siguiendo el objetivo establecido con este trabajo, se va a utilizar el modelo de ponderación de beneficio de la duda (BoD) en una versión direccional, para derivar ponderaciones de tal manera que se maximice el valor del indicador compuesto de una central de abastos, sujeto a un límite superior (generalmente 1 o 100%). Para determinar las ponderaciones de importancia óptimas, el modelo BoD coloca a cada central de abastos en una perspectiva relativa al compararlas entre sí y buscar criterios de rendimiento de fortaleza y debilidad relativa.

Para la estimación de la eficiencia en los alimentos transportados en Colombia, se utilizarán variables de resultado como las emisiones de dióxido de carbono, logísticas como los kilómetros de los alimentos recorridos hacia el centro de abastecimiento destino, cantidades de alimentos transportados y variables de entorno como el valor agregado de los municipios, el índice de desempeño municipal.

Con base en lo anterior, matemáticamente este modelo se puede expresar a través de las siguientes ecuaciones:

$$(1) \quad D_k = \min_{w_{k,r}^+, u_{k,l}^-} \left(-\sum_{r=1}^s w_{k,r}^+ y_{k,r}^+ + \sum_{l=1}^m u_{k,l}^- y_{k,l}^- + v \right)$$

s.t.

$$(2) \quad \sum_{r=1}^s w_{k,r}^+ g_r^+ + \sum_{l=1}^m u_{k,l}^- g_l^- = 1$$

$$(3) \quad -\sum_{r=1}^s w_{k,r}^+ y_{j,r}^+ + \sum_{l=1}^m u_{k,l}^- y_{j,l}^- + v \geq 0 \quad (j = 1, \dots, N)$$

$$\begin{aligned} w_{k,r}^+ &\geq 0 & (r = 1, \dots, s) \\ u_{k,l}^- &\geq 0 & (l = 1, \dots, m) \\ v &\in \mathfrak{R} \end{aligned}$$

La distancia direccional óptima se analiza en función de las variables de resultado para cada central de abastos evaluada k ; y^+ e y^- muestra respectivamente los indicadores s deseables y m no deseables j para medir el rendimiento de las 21 centrales de abastecimientos (y^+ e y^-); w^+ y u^- , son los pesos óptimos del BoD para los centros de abastecimiento k , para k, r, l los indicadores de rendimiento deseables y no deseables.

Los valores objetivo asociados para los indicadores de rendimiento no deseables y deseables son respectivamente iguales a $y^- D(\cdot) g^-, y^+ e + D(\cdot) g^+$. El vector de dirección $(g^-, g_r^+) \in Rm + s$ especifica la dirección exacta en la cual se deben realizar mejoras.

Como se muestra anteriormente se analiza la distancia óptima en una dirección específica con respecto a las variables de resultado para cada centro de abastos evaluado. Los indicadores y^+ y y^- representan lo que queremos y no queremos medir en el rendimiento de estos centros. Los pesos óptimos del BoD para cada centro de abastecimiento se denotan como w^+ y u , y se aplican a los indicadores de rendimiento deseables y no deseables.

Los valores objetivo asociados a los indicadores no deseados y deseados se expresan como $y^- D(\cdot) g^-, y^+ e + D(\cdot) g^+$ respectivamente. Aquí, g^- y g^+ son vectores que especifican la dirección exacta en la cual se deben realizar mejoras en los indicadores de rendimiento no deseados y deseados. Esencialmente se está evaluando cómo mejorar el rendimiento de los centros de abastecimiento en función de lo que sería deseable y no deseable.

En el contexto de la construcción de indicadores compuestos, el modelo de distancia direccional permite buscar simultáneamente mejoras en los indicadores de rendimiento deseables y no deseables de los centros de abastecimiento.

En particular, en la búsqueda de mejoras en el rendimiento el objetivo es contraer los indicadores no deseados y expandir las salidas deseables.

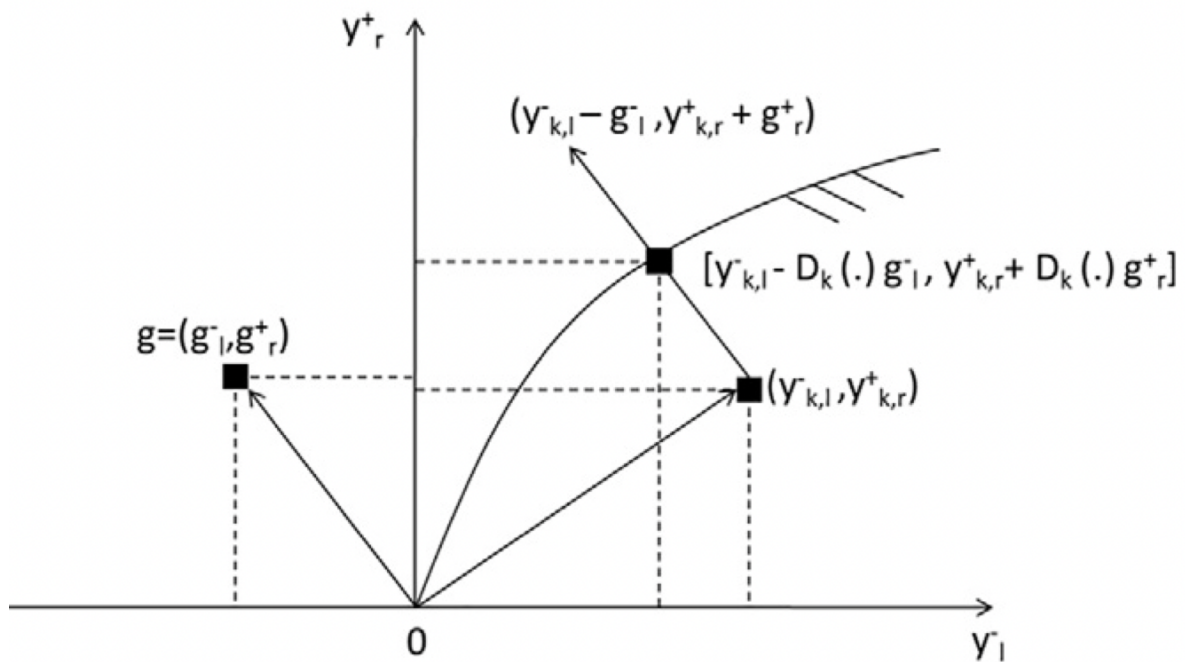
El enfoque no paramétrico se emplea principalmente debido a tres ventajas metodológicas fundamentales que se centran en el objetivo del análisis. En primer lugar, permite la utilización de múltiples resultados (Thieme et al., 2013), facilitando el cálculo de la eficiencia al considerar tanto variables relacionadas con la calidad como con la cantidad. En segundo lugar, muestra una menor vulnerabilidad que los modelos econométricos ante problemas de especificación (Sinuany-Stern et al., 1994), ya que no requiere una definición específica (no garantizada) de la función de producción. En tercer lugar, no es necesario realizar suposiciones sobre la distribución de errores en la función de producción (Worthington, 2001).

Dentro de los modelos no paramétricos hay metodologías las cuales son usadas frecuentemente para este tipo de modelos, como el DEA, sin embargo, en este estudio se

utiliza un enfoque de beneficio de la duda con un enfoque direccional, ya que este permite ser utilizado cuando hay limitaciones de encontrar inputs en el proceso.

De manera que, el modelo de beneficio de la duda direccional se utiliza para dar mayor relevancia a los centros de abastecimientos que reciben más toneladas de alimentos, generando menos emisiones de gases de efecto invernadero, y viajan menos kilómetros. A cada unidad, se le dará un valor intrínseco específico el cual permite medir qué tan eficiente es. Lo anterior, se puede analizar en la figura 1.

Figura 1. Modelo de distancia direccional



Fuente: (Rogge et al.2017)

Gráficamente, la versión de distancia direccional del modelo BoD proyecta los datos de rendimiento de la central de abastecimiento evaluada (y_l^-, y_r^+) en la dirección k, l, r (g_l^-, g_r^+) de la frontera de rendimiento de referencia (Fig. 1).

Enfoque empírico

En esta sección se realiza una descripción de la base de datos utilizada en este trabajo, y el proceso de su construcción. También se describen las variables utilizadas y se presentan los estadísticos descriptivos correspondientes y que contribuyen a la evidencia en posibles campos de mejora en la eficiencia en los alimentos transportados en Colombia, hacia los centros principales de abastecimiento.

Para el análisis de la eficiencia en los alimentos transportados en Colombia, se emplearon tres outputs y tres variables de contexto entre los años 2019 y 2021. Se utilizó la información disponible en la plataforma Plasa Colombia¹, donde hay disponible información sobre el sistema alimentario de Colombia, esta ha sido una iniciativa principalmente liderada por Alliance Bioversity CIAT. De esta base de datos se extrajeron las variables de resultado: emisiones de CO₂, kilómetros de los alimentos recorridos (Km) y cantidad de alimentos transportados (Ton).

En la literatura se ha encontrado el uso de estas variables, no para medir la eficiencia en sí de los centros de abastecimiento, pero se encuentran estudios en los cuales se ha trabajado con algunas de las variables implementadas. En el trabajo “Análisis de decisiones multicriterio para rutas de frutas y verduras basado en el concepto de millas de alimentos” (Bigaran et al. 2022) proponen un sistema de evaluación del desempeño para clasificar la eficiencia de las rutas de distribución de frutas y hortalizas con base en criterios seleccionados relacionados con la logística, las prácticas de distribución y las pérdidas físicas que forman parte de los atributos asociados al concepto de millas de alimentos utilizando variables como los Km recorridos y las emisiones de CO₂. Así mismo argumentan que un análisis de logística como es este caso debe tomar en consideración, aspectos como la distancia, el tipo de transporte y las emisiones contaminantes, para así poder determinar cuáles rutas son las más eficientes.

De igual manera las emisiones de CO₂ han sido tomadas en consideración en varios trabajos como lo es en el de “Challenges and opportunities for improving eco-efficiency of tropical forage-based systems to mitigate greenhouse gas emissions” (Peters et al. 2017) en el cual se busca desarrollar enfoques para la intensificación sostenible de los sistemas ganaderos con el fin de mitigar las emisiones de CO₂, abordando desafíos biofísicos, socioeconómicos y políticos. Este artículo destaca el potencial de los forrajes tropicales mejorados, vinculados con

¹ www.plasacolombia.com

incentivos políticos, para mejorar la producción ganadera, al tiempo que se reduce su huella ambiental. Se hace hincapié en los sistemas de cultivos y ganadería. Para Colombia no hay indicadores de eficiencia para el sistema alimentario e incluso a nivel internacional son difícil encontrar.

Posteriormente para este trabajo el valor agregado se consulto en el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), en las cuentas nacionales departamentales, en donde se obtiene el valor agregado por municipios. Estos valores se deflactaron para obtener los valores agregados a precios constantes en dicho rango de años. El índice de desempeño municipal, el cual tiene como objetivo medir, comparar y ordenar a los municipios según su desempeño municipal, el cual se le otorga una calificación : baja (45 puntos o menos), media (entre 45 y 55 puntos), alta (más de 55 puntos), se obtuvo del departamento nacional de planeación. La categorización de los municipios fue obtenida por medio de la base de datos de la contaduría general de nación, las categorías se dividen en tres grupos, grandes municipios (categoría especial (ESP) y primera categoría (A), municipios intermedios (segunda (B), tercera (C) y cuarta categoría (D) y municipios básicos (quinta (E) y sexta categoría (F). La construcción de la base de datos fue a partir de 21 centros de abastecimiento que estaban disponibles en la información de Plasa Colombia, luego, se le asocia a cada una la información municipal para lograr incorporar el contexto en el que opera cada una de estas.

Para la estimación del modelo se tomaron las variables como resultados no deseables las emisiones de CO₂ y kilómetros recorridos, resultados deseables las cantidades de alimentos transportados, y como variables de entorno el valor agregado, el índice de desempeño municipal, y para analizar los resultados se obtuvo en cuenta la variable de categorización de los municipios.

Las estadísticas descriptivas que se presentan en la tabla 1, calculadas para los centros de abastecimiento y el grupo de variables, muestran una alta desviación estándar con relación a la media, por ejemplo, la cantidad de alimentos (ton) tiene una media de 286.046 y una desviación de 486.431, de igual forma, la media de las emisiones de CO₂ es igual a 2.960 y la desviación es de 2.564, y la distancia alimentos recorrida tiene una media de 399.342 y una desviación de 345.950. Lo anterior, indica que los datos son altamente heterogéneos entre los municipios. En particular, con relación a la cantidad de alimento en toneladas recibidas, algunos centros de abastecimiento dependen en gran medida de su facilidad para abastecerse, las conexiones intermunicipales y las redes de mercado entre los centros de abastecimiento, lo que hace que el comportamiento del sistema presente alta variabilidad. La mediana de los datos

indica que el 50% de los municipios recibieron menos de 94.448 toneladas de alimentos, las cuales emitieron por debajo de 1.714 toneladas de CO₂ y recorrieron una distancia inferior a 231.234 km.

Es importante tener en cuenta que, aunque las variables, emisiones de CO₂ por tonelada y transporte de los alimentos, en kilómetros, están correlacionadas, la variabilidad de estas medidas dependerá de características de los medios de transporte utilizados, tipo de vehículos, tipo de combustibles, calidad de las vías de transporte, tiempo requerido en el desplazamiento de un lugar a otro, calidad de los mantenimientos de los vehículos, entre otros. Por estos motivos, se resalta la importancia de considerar ambas variables dentro de la función de producción.

El índice de desempeño municipal, el cual tiene como objetivo medir, comparar y ordenar a los municipios según su desempeño municipal, otorga una calificación: baja a valores menores de 45 puntos, media entre 45 y 55 puntos y alta a valores mayores de 55 puntos (ver Anexo 2).

Los datos indican que todos los municipios de la muestra tienen un alto desempeño municipal, sin embargo, este indicador no explica la baja eficiencia que tienen algunos centros de abastecimiento por la alta dependencia que tienen en la provisión de alimentos desde otras localidades.

Tabla 1: Estadísticas descriptivas de good outputs, bad outputs y variables de entorno.

Variables	Descripción	Media	Mediana	Q1	Q3	Desviación estándar
<i>outputs</i>						
Cantidad de alimento (Ton)	Total de toneladas recibidas en los centros de abastecimiento en 21 municipios de Colombia	286.046	99.448	59.257	338.565	486.431
Emisiones de CO ₂ (Ton)	Total emisiones CO ₂ generados por el total de toneladas de alimentos recibidos	2.960	1.714	1.240	4.091	2.564
Distancia alimentos recorrida (Km)	Total de Km recorridos en el transporte del total de toneladas de alimentos recibidos	399.342	231.282	167.308	551.918	345.950
<i>Variables de entorno</i>						
Índice de desempeño municipal	Evalúa la gestión pública entendido como la capacidad de gestión entre otros.	67	66	62	74	11.275
Valor agregado (Miles de millones)	representa la remuneración a los factores de producción	19.565	6.103	4.111	12.187	43.146

Fuente: elaboración propia

El primer cuartil (Q1) nos indica que el 25% de los centros de abastecimiento presentaron un valor, en la toneladas de alimentos, menor de 59.257 (ton) y el otro 25% por encima de 338.565 (ton). Respecto a las emisiones de gases de CO₂ el primer cuartil de municipios presenta valores debajo de 1.240 (ton) y el ultimo cuartil por encima de 4.091 (ton). La distancia recorrida por los alimentos es menor a 167.308 kilómetros para el 25% de los centros de abastecimiento y mayor a 551.918 kilómetros para el 75%.

Lo anterior, se explica ya que municipios como Bogotá, que están altamente conectados con municipios vecinos y en el centro del país, siendo la capital, recibe en promedio 2.227.126

toneladas de alimentos, que generan 9.951 toneladas de emisiones de CO₂, que recorren en promedio 1.342.470 kilómetros, representa el 37% de la cantidad de alimentos recibidos, el 16% de emisión de CO₂ y el 16% de kilómetros recorridos, del total de los 21 municipios. Por otra parte, Barranquilla recibe en promedio 403.324 toneladas de alimentos, que generan 6.395 emisiones de CO₂, que recorren en promedio 862.780 kilómetros, representa el 7% de la cantidad de alimentos recibidos, el 10% de emisión de CO₂ y el 10% de kilómetros recorridos, del total de los 21 municipios (ver detalles descriptivos en anexo 3). Esto quiere decir que a pesar de Barranquilla este recibiendo una menor proporción de alimentos, estos recorren una mayor distancia en kilómetros de forma relativa y en la misma forma contribuyen con una mayor emisión de CO₂ con respecto a Bogotá.

La tabla 2, detalla las variables de análisis de manera comparativa en los tres años considerados en el estudio, 2019, 2020 y 2021. El objetivo de esta comparación es ilustrar si hubo cambios en el comportamiento de las variables en algún año en específico. Las desviaciones estándar de las variables confirman la heterogeneidad de los datos en los 21 centros de abastecimientos evaluados en el conjunto de variables estudiadas, en los tres años, por lo que nos limitaremos a identificar eventos puntuales.

Entre el año 2019 y el año 2021 se incrementa el promedio de la distancia recorrida por los alimentos en kilómetros que pasan de 282.587 a 415.701 y del promedio de las emisiones de CO₂, de 2.927 a 3.881, aunque no hay un significativo incremento en el promedio de la cantidad de alimento en toneladas, pues esta pasa de 282.587 a 288.732; esto indicaría que los centros de abastecimiento tuvieron que recurrir a recibir algún grupo de alimentos desde mayores distancias o abrir una mayor cantidad de rutas que no están conectadas de forma óptima.

Los resultados del año 2020, que correspondió al año de la pandemia COVID 19, en comparación con 2019, muestra una disminución en el promedio de las emisiones de CO₂, que pasaron de 2.927 a 2871 toneladas y en la distancia recorrida por los alimentos en kilómetros, que disminuyó de 394.921 a 387.403 en 2019, en contraste con un ligero crecimiento de la cantidad de alimentos en toneladas, la cual se incrementó de 282.578 a 286.828 toneladas.

Tabla 2: Estadísticas descriptivas de good outputs, bad outputs y variables de entorno por años

Año 2019					
VARIABLES	Media	Mediana	Q1	Q3	Desviación estándar
Cantidad alimentos (ton)	282.578	99.448	59.949	334.063	474.407
Emisiones de CO2	2.927	1.577	1.175	4.097	2.658
Distancia recorrida (km)	394.921	212.759	60.967	291.549	358.551
Valor agregado	19.871	6.104	4.303	12.282	44.327
Desempeño municipal	68	67	63	74	10

Año 2020					
VARIABLES	Media	Mediana	Q1	Q3	Desviación estándar
Cantidad alimentos (ton)	286.828	99.449	59.949	334.062	474.407
Emisiones de CO2	2.871	1.836	1.344	4.085	2.437
Distancia recorrida (km)	387.403	247.763	181.309	551.090	328.834
Valor agregado	18.538	5.622	3.940	11.504	41.327
Desempeño municipal	67	66	62	76	10

Año 2021					
VARIABLES	Media	Mediana	Q1	Q3	Desviación estándar
Cantidad alimentos (ton)	288.732	107.572	58.566	343.068	498.900
Emisiones de CO2	3.881	1.820	1.239	4.009	2.712
Distancia recorrida (km)	415.701	245.624	173.936	540.854	365.884
Valor agregado	20.287	6.184	4.137	12.091	45.785
Desempeño municipal	66	66	58	73	10

Fuente : elaboración propia

Queremos resaltar que el valor agregado, en el año 2020, disminuye con relación al año 2019, de 19.871 a 18.538, lo cual indica que hubo una variación en las preferencias por el consumo de cierto grupo de alimentos posiblemente por el alto precio que llegaron a alcanzar algunos y escasez de otros.

Resultados

Los datos de la muestra se procesaron por medio del programa estadístico R, para poder calcular estadísticos descriptivos los cuales nos permitieron pasar a realizar el modelo Beneficio de la Duda, para estimar la eficiencia relativa de los centros de abastecimiento. Con base en el modelo definido se midió el nivel de eficiencia de cada uno de los centros de abastecimiento de los 21 municipios considerados en el análisis. En la tabla 3, se detallan los resultados de los indicadores de crecimiento del nivel de eficiencia que se obtuvieron comparando el resultado del año 2021 versus el año 2019 y el promedio del nivel de eficiencia, de cada centro de abastecimiento. Al ordenar el índice de eficiencia en forma descendente, se calcularon los cuartiles los cuales permitieron agrupar los municipios (Anexo 1)

El nivel de eficiencia promedio de los 21 centros de abastecimiento, para el año 2021 es del 62%, por lo tanto, el sistema alimentario en su conjunto tiene una mejora potencial de 38% con base en las variables de contexto analizadas y las variables de resultado. Los municipios que tienen el mayor nivel de eficiencia relativa son Armenia, Bogotá D.C., Ipiales Medellín, Cúcuta y Bucaramanga, 98,8% con un potencial de mejora de 1,2%; por esta razón presentan las más bajas tasas de crecimiento 1,8%.

En el siguiente grupo están los municipios de Neiva, con el 11%, Tunja 19%, , Cali 21%, Barranquilla 25%, y Pasto 32%, de potencial de mejora, que en promedio muestra ineficiencias del 21,7%. Se destaca en este grupo, que los municipios presentan altas tasas de crecimiento entre los años 2021 y 2019. Tunja con una tasa de crecimiento del 41%, seguida de Barranquilla con el 18,4%, Cali con el 11,5% y Pasto con el 9,5%. Neiva decreció el 2,9% a pesar de ser la de mayor eficiencia del grupo analizado. El caso de Tunja, con el mayor crecimiento, se explica por la implementación de programas de expansión de los cultivos agrícolas, Barranquilla y Cali han contado con el desarrollo de obras de infraestructura vial en sus departamentos, mientras que Pasto cuenta con una infraestructura básica.

El tercer grupo lo conforman Villavicencio con el 55%, Pereira 45%, Cartagena 65%, Popayán 66% y Manizales 67%, de potencial de mejora, que en promedio son ineficiencias de 57,8%. De este grupo, Manizales presenta un crecimiento significativo en el nivel de eficiencia entre el 2021 y 2019, del 70% lo cual coincide con el desarrollo de proyectos de mejoramiento de las vías intermunicipales y la mejora en la conectividad vial entre municipio de Antioquia y Caldas.

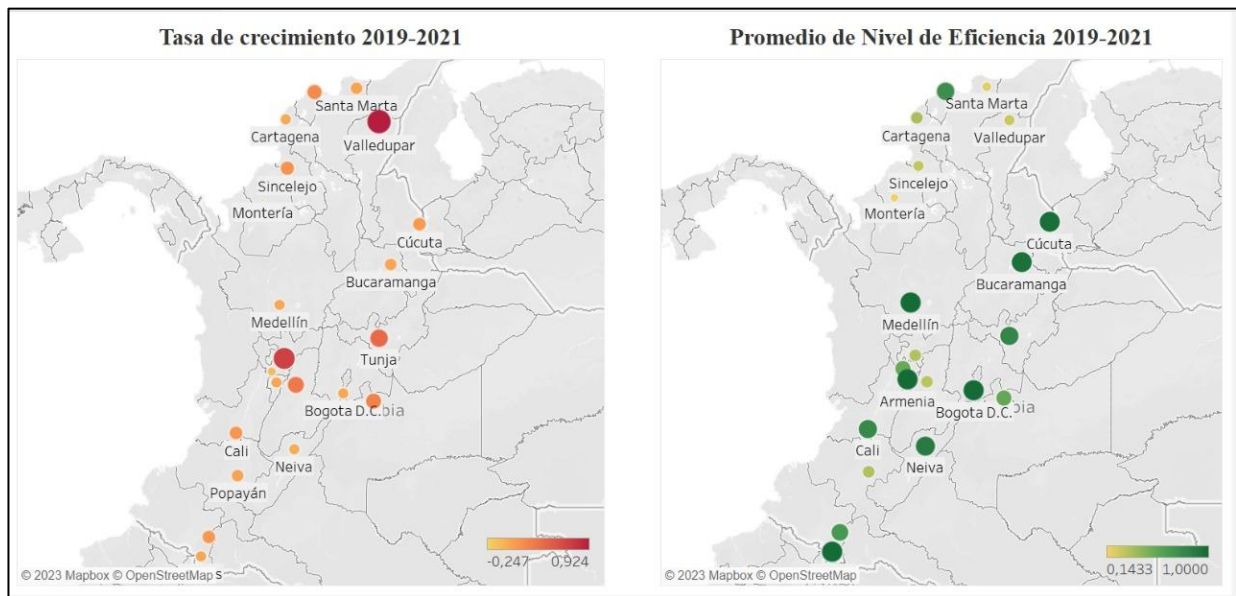
Tabla 3. Tasa de crecimiento y media del nivel de eficiencia por municipios

Municipio	Tasa crecimiento nivel eficiencia 2019-2021	Media
Armenia	0,000	1,000
Barranquilla	0,184	0,750
Bogotá D.C.	0,000	1,000
Bucaramanga	0,017	0,956
Cali	0,115	0,788
Cartagena	-0,023	0,348
Cúcuta	0,092	0,972
Ibagué	0,306	0,302
Ipiales	0,000	1,000
Manizales	0,704	0,328
Medellín	0,000	1,000
Montería	-0,247	0,143
Neiva	-0,029	0,890
Pasto	0,095	0,680
Pereira	-0,111	0,545
Popayán	0,030	0,331
Santa Marta	0,038	0,186
Sincelejo	0,131	0,278
Tunja	0,410	0,809
Valledupar	0,924	0,255
Villavicencio	0,235	0,560

Fuente : elaboración propia

Los municipios con mayor potencial para mejorar el nivel de eficiencia son Ibagué 69%, Sincelejo 72%, Valledupar 74%, Santa Marta 81% y Montería 85%, que en promedio representa un potencial de mejora de 76%. En este grupo se encuentran los municipios de la costa caribe, los cuales están a mayores distancias con respecto a los que se denominan las despensas agrícolas de Colombia, también es conocido que los departamentos de la costa, en particular los de estos grupos, tienen deficiente desarrollo en su infraestructura vial. De este grupo, se resalta que Valledupar logró una tasa de crecimiento del 92% con respecto al 2019.

Figura 2. Mapa de crecimiento nivel de eficiencia – Promedio eficiencia



Fuente : elaboración propia

El mapa de la izquierda indica que a mayor intensidad del color y mayor tamaño del círculo hay mayores niveles de crecimiento, por otra parte, el de la derecha indica que a menor tamaño del círculo y menor intensidad de color hay mayor potencial de mejora promedio. Por ejemplo, se puede ver claramente que Valledupar, aunque presenta una tasa de crecimiento alta, muestra un nivel de eficiencia bajo, lo que indica que sigue teniendo un alto potencial de mejora.

Bogotá, Medellín, Armenia no presentan un cambio en su tasa de crecimiento significativo puesto que tienen un nivel de eficiencia alto, siendo el referente relativo para los municipios similares. Aunque los centros de abastecimientos de estos 21 municipios presenten un nivel de crecimiento no necesariamente indica que estén maximizando las cantidades de alimentos que reciben y minimizando las emisiones de CO₂ y los kilómetros recorridos.

Conclusiones

El sistema alimentario, está constituido por múltiple factores y actores. De igual manera está determinado por variables culturales, socioeconómicas sumadas a la diversidad geográfica y características de los suelos que define a Colombia como un país con una gran variedad de oferta alimentaria regional y diversa. La gran extensión geográfica y el modelo de desarrollo concentrado en ciudades principales, capitales de departamento, y algunas poblaciones de segundo o tercer nivel, hace que exista una marcada desigualdad en el acceso a una diversa y nutrida oferta alimentaria.

Un factor determinante, además de las marcadas vocaciones agrícolas y pecuarias de cada región, lo determina el bajo nivel de desarrollo de la malla vial del país, que obliga a que los alimentos transiten por todo tipo de vías desde caminos vecinales, vías intermedias, vías inter municipales y nacionales, con marcadas diferencias y limitaciones de tránsito, que determinan el tiempo de traslado y los kilómetros recorridos de los alimentos de un lugar a otro , además de la limitada disponibilidad de apropiados vehículos de transporte desde y hacia todos los rincones del país. Todo el proceso al cual se deben someter los alimentos para llegar de un lugar a otro genera unas pérdidas incalculables en el sistema alimentario producto del deterioro que sufren los alimentos, por las temperaturas climáticas y largas horas de transporte a las cuales se someten.

Por otro lado, la eficiencia en materia alimentaria también está relacionada con la productividad en materia agrícola y pecuaria de acuerdo con las formas de cultivo, el acceso y uso de fertilizantes o conservantes, el uso de métodos orgánicos o químicos en la conservación, los factores climáticos de cada región y la intensidad de los cultivos o mejor aprovechamiento de la tierra. Cada vez que más se profundiza en el tema, recobra un mayor interés e importancia y se convierte en un reto de investigación, que está limitado por la carencia de suficiente información que permita un análisis multivariado de todos los factores que deberían considerarse.

Es esta la razón por la cual el objetivo de esta investigación es estimar la eficiencia de las centrales de abasto, calculada considerando los alimentos transportados en Colombia, la cantidad de emisiones de efecto invernadero que son emitidas, los kilómetros que viajan estos alimentos a su destino y variables de entorno como el valor agregado municipal y el índice de

desempeño municipal. Estos objetivos tienen relevancia debido principalmente a que se carece de una medida de eficiencia de las centrales de abasto en función de los alimentos transportados, la cual permita satisfacer las necesidades de la población manera efectiva, especialmente en áreas donde puede haber escasez o limitaciones en la producción local, por esto es importante tener en cuenta este tipo de indicadores, ya que puede motivar la diversificación de alimentos y fomentar la producción local.

Los resultados permitieron agrupar los centros de abastecimientos correspondientes a 21 municipios de Colombia, de acuerdo con las variables nivel de eficiencia interpretada como el potencial de mejora y la tasa de crecimiento mostrada en 2021 con respecto al 2019.

Se destacan municipios con un alto nivel de eficiencia como Armenia, Bogotá D.C., Ipiales, Medellín, Cúcuta y Bucaramanga, con un indicador de eficiencia de 98,56% y una baja tasa de crecimiento de 1,8%. En contraste con los de este grupo se identifican los municipios con el menor nivel de eficiencia que se traduce en los de mayor potencial de mejora, Ibagué, Sincelejo, Valledupar, Santa Marta y Montería, los cuales tienen el potencial de mejora más alto, 76,72%, en promedio, arrastrado por Santa Marta y Montería que presentan los niveles más bajos de eficiencia 18,6 y 14,3%, de igual manera este grupo presenta la menor tasa de crecimiento, entre los años 2021 y 2019, 6%, con excepción de Valledupar con una tasa de crecimiento del 92%.

En conclusión existen un grupo importante de municipios 75% de los 21 municipios estudiados en la muestra, con un importante potencial de mejora en el indicador de nivel de eficiencia, la cual podría estar relacionado con la distancia geográfica desde los municipios que se denominan la despensa agrícola de Colombia y a que aún deben realizar inversiones importantes en el desarrollo de su infraestructura vial y lograr, en alguna medida, que en conjunto con los municipios vecinos logren cultivar una mayor diversidad y cantidad de alimentos, logrando que tengan que recorrer menores distancia en kilómetros hacia sus centros de acopio para el abastecimiento de su población y contribuyendo, de esta manera en una menor emisión de CO₂.

Aunque este estudio cumple todos los objetivos propuestos y es innovador para el contexto latinoamericano y en especial para Colombia donde se hace un análisis de múltiples variables que afectan el sistema alimentario considerando buenos y malos resultados del proceso, ha

tenido limitaciones como la selección de los centros de abastecimiento, debido a que se depende de la base de datos que ofrece Plasa Colombia donde ellos a través del sistema de SIPSA consideran los principales abastecimientos del país. Además, los tipos de alimentos no fueron considerados en este estudio por el alcance del mismo, pero pueden ser incluidos en futuros estudios. Finalmente, el calculo de las distancias, ya que el trazo de la tuta de los kilómetros fue desarrollado por el CIAT y el Banco de la República a través de la API de *Google*. donde se trazan rutas a través de *Google Maps*, pero no necesariamente son las rutas más eficientes para la distribución de los alimentos.

- Bigaran Aliotte, J.T. & Ramos de Oliveira, A.L. (2022). Multicriteria decision analysis for fruits and vegetables routes based on the Food Miles Concep. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 54(1), pp. 97–108.
- Brinken, J., Trojahn, S., & Behrendt, F. (2022). Sufficiency, consistency, and efficiency as a base for systemizing sustainability measures in food supply chains. *Sustainability*, 14(11), 6742.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- Carter, C.R & Rogers, D.S. (2008). “A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory”. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38 (5): 360- 387.
- Cassen, R. H. (1987). Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development. *International Affairs*, 64(1), 126–126.
- Chung, Y. H., Fare, R., & Grosskopf, S. (1997). Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach. *Journal of Environmental Management*, 51(3), 229–240.
- Zanella, A., Camanho, A. S., & Dias, T. G. (2015). Undesirable outputs and weighting schemes in composite indicators based on data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 245(2), 517-530.
- Da Silva, C. A. (2009). La configuración de los circuitos «de proximidad» en el sistema alimentario: tendencias evolutivas. *Documents d'anàlisi geogràfica*, (54), 11-32.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342.
- Fusco, E. (2015). Enhancing non-compensatory composite indicators: A directional proposal. *European journal of operational research*, 242(2), 620-630
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018).

- Gamboa-Bernal, G. A. (2022). Cumbre del Cambio climático 2021: más escepticismo que compromisos. *Persona y Bioética*, 26(1).
- Garibaldi, L. A., Andersson, G., Fernández Ferrari, C., & Pérez-Méndez, N. (2018). Seguridad Alimentaria, medio ambiente y nuestros hábitos de consumo. *Ecología Austral*, 28(3).
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., Meybeck, A., 2011. Causes and Prevention of Food Losses and Waste. Glob. Food Losses Food Waste. FAO, 2011.
- IPCC. Climate Change (2014). Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A.
- Khoury, C. K., Bjorkman, A. D., Dempewolf, H., Ramirez-Villegas, J., Guarino, L., Jarvis, A., ... & Struik, P. C. (2014). Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 111(11), 4001-4006.
- Kailaku, S. I., Arkeman, Y., Purwanto, Y. A., & Udin, F. (2022). Logistics Network Configuration: The solution for quality-related problems in long-distance transportation of Mango in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1063(1), 012057.
- Meng, Q. (2017). The impacts of fracking on the environment: A total environmental study paradigm. *Science of the Total Environment*, 580, 953-957.
- Mosnier, C., Boukhriss, S., & Minviel, J. J. (2023). Does pig production improves cattle farm sustainability in the French massif central? A hierarchical constrained directional benefit-of-the-doubt approach. *Agricultural Systems*, 210, 103692.
- Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554), 3065-3081.
- Peters, M., Herrero, M., Fisher, M., Erb, K. H., Rao, I., Subbarao, G. V., Castro, A., Arango, J., Chará, J., Murgueitio, E., Van der Hoek, R., Läderach, P., Hyman, G., *

Tapasco, J., Strassburg, B., Paul, B., Rincón, A., Schultze -Kraft, R., Fonte, S. & ... & Searchinger, T. (2013). Challenges and opportunities for improving eco-efficiency of tropical forage-based systems to mitigate greenhouse gas emissions. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 1(2), 156-167.

- Rogge, N., De Jaeger, S., & Lavigne, C. (2017). Waste performance of NUTS 2-regions in the EU: A conditional directional distance benefit-of-the-doubt model. *Ecological Economics*, 139, 19-32.
- Torres, R. (2015). Transporte, comunicaciones y seguridad alimentaria .*Debate Agrario*, (47), 57.
- Wu, D., Zhang, Z., Liu, D., Zhang, L., Li, M., Khan, M. I., Li, T. &... Cui, S. (2024). Calculation and analysis of agricultural carbon emission efficiency considering water–energy–food pressure: Modeling and application. *Science of The Total Environment*, 907, 167819.
- Thieme, Lee, J. T., Zhao, Y.,S., Kim, H., Oschatz, M., Borchardt, L., ... & Yushin, G. (2013). Sulfur-infiltrated micro-and mesoporous silicon carbide-derived carbon cathode for high-performance lithium sulfur batteries. *Advanced Materials*, 25(33), 4573-4579.
- Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A., & Barboy, A. (1994). Academic departments efficiency via DEA. *Computers & Operations Research*, 21(5), 543-556.
- Worthington, A. C. (2001). An empirical survey of frontier efficiency measurement techniques in education. *Education economics*, 9(3), 245-268.

Anexos

Anexo 1. Categorización municipal según su nivel de eficiencia

1	Medellín, Bogotá D.C, Armenia, Ipiales, Cúcuta, Bucaramanga
2	Neiva, Tunja, Cali, Barranquilla, Pasto
3	Villavicencio, Pereira, Cartagena, Popayán, Manizales
4	Ibagué, Sincelejo, Valledupar, Santa Marta, Montería

Fuente: elaboración propia

Anexo 2. Calificación de desempeño de los municipios y nivel de eficiencia

Municipio	Calificación del desempeño	Indicador del nivel de eficiencia
Medellín	83,19	100%
Bogota D.C.	82,2	100%
Armenia	73,54	100%
Ipiales	50,92	100%
Cúcuta	67,03	97%
Bucaramanga	74,63	96%
Neiva	65,83	89%
Tunja	70,77	81%
Cali	83,76	79%
Barranquilla	76,3	75%
Pasto	59,9	68%
Villavicencio	64,36	56%
Pereira	73,35	55%
Cartagena	63,3	35%
Popayán	61,29	33%
Manizales	71,8	33%
Ibagué	68,04	30%
Sincelejo	51,06	28%
Valledupar	49,97	26%
Santa Marta	63,64	19%
Montería	57,09	14%

Según Planeación Nacional la calificación de desempeño > 55 se considera alto desempeño

Fuente: elaboración propia

Anexo 3. Comportamiento promedio de las variables de resultado.

Municipios	Cantidad de alimentos (Ton)	Emisiones de CO2 (Ton)	Dsitancia recorrida (Km)
Armenia	119.303	1.320	178.045
Barranquilla	403.324	6.396	862.790
Bogotá D.C.	2.227.126	9.951	1.342.470
Bucaramanga	440.714	4.576	617.336
Cali	475.753	4.317	582.407
Cartagena	181.714	4.589	619.063
Cúcuta	322.893	3.841	518.215
Ibagué	45.882	897	121.065
Ipiáles	51.156	140	18.856
Manizales	71.021	1.648	222.267
Medellín	911.460	8.172	1.102.373
Montería	42.859	2.290	308.994
Neiva	95.049	2.360	318.329
Pasto	112.882	1.291	174.182
Pereira	83.401	1.350	182.178
Popayán	56.103	1.356	182.922
Santa Marta	39.265	1.266	170.801
Sincelejo	55.575	1.553	209.471
Tunja	106.370	1.234	166.512
Valledupar	67.808	2.645	356.853
Villavicencio	97.309	971	131.055

Los promedios, para cada variable, se calcularon de los datos obtenidos de los años 2019, 2020 y 2021

Fuente: elaboración propia