



**Influencia de los costos de insumos agrícolas en la variación de precios de  
alimentos para 2018-2023 en Colombia**

Diana Paola Figueroa Hernández

Juan Camilo Pacheco Vargas

Director:

Pablo Cesar Ocampo

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gerencia Logística

Bogotá, Colombia

## Resumen

El sector agrícola ha sido un motor para la economía nacional, con crecimiento del PIB agropecuario y creación de empleos, aunque afectado por fluctuaciones en los precios de insumos como fertilizantes y plaguicidas.

El objetivo del estudio es analizar cómo los cambios en los costos de insumos agrícolas han influido en los precios de los alimentos durante el período 2018-2023 en Colombia. Se aborda la relación entre los precios de insumos agrícolas y los precios de venta de alimentos en Colombia. La metodología emplea un análisis de series temporales y modelos de regresión para identificar patrones en los precios.

Los principales resultados muestran una relación significativa entre los precios de insumos y los precios de alimentos, con ciertas categorías de insumos afectando más que otras. Las conclusiones destacan la importancia de gestionar la volatilidad de precios para mejorar la estabilidad en la cadena de suministro agrícola y proponen recomendaciones para mitigar el impacto de los costos de insumos en los precios de venta de alimentos.

**Palabras clave:** Precios de insumos agrícolas, Series temporales, Variación de precios, Cadena de suministro, Análisis econométrico, Sector agrícola colombiano, Volatilidad de precios.

### **Abstract**

The agricultural sector has been a driver for Colombia's national economy, with agricultural GDP growth and job creation, although affected by fluctuations in the prices of inputs such as fertilizers and pesticides.

The objective of the study is to analyze how changes in agricultural input costs have influenced food prices during the period 2018-2023. The relationship between agricultural input prices and food sales prices in Colombia is addressed. The methodology employs time series analysis and regression models to identify patterns in prices.

The main results show a significant relationship between input prices and food prices, with certain categories of inputs affecting them more than others. The conclusions highlight the importance of managing price volatility to improve stability in the agricultural supply chain and propose recommendations to mitigate the impact of input costs on food sales prices.

**Keywords:** Agricultural prices, Time series, Price variation, Supply chain, Econometric analysis, Colombian agricultural sector, Price volatility.

## Contenido

<b>1. Introducción.....</b>	<b>9</b>
1.1. <i>Tema de investigación.....</i>	9
1.2. <i>Antecedentes del problema.....</i>	9
1.2.1. Sector agrícola en Colombia .....	9
1.2.2. Importaciones y exportaciones.....	13
1.2.3. Índice de Precios al Consumidor .....	14
1.2.4. Precios de los Productos agropecuarios .....	15
1.2.5. Precios de los Insumos Agrícolas.....	17
1.3. <i>Descripción del problema.....</i>	20
1.4. <i>Pregunta de investigación.....</i>	20
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>21</b>
2.1. <i>Objetivo general.....</i>	21
2.2. <i>Objetivos específicos.....</i>	21
<b>3. Justificación .....</b>	<b>22</b>
<b>4. Marco Teórico.....</b>	<b>24</b>
4.1. <i>Conceptos Clave.....</i>	24
4.2. <i>Teoría de Precios y Mercados.....</i>	25
4.3. <i>Modelos de determinación de precios.....</i>	26
4.4. <i>Cadena de suministro de alimentos.....</i>	27
4.5. <i>Impacto de Factores Externos.....</i>	29
4.6. <i>Oportunidades de mejora para la competitividad de precios.....</i>	35
4.7. <i>Oportunidades para Colombia.....</i>	36
<b>5. Metodología.....</b>	<b>39</b>

5.1. Enfoque y alcance de la investigación.....	39
5.2. Población y muestra.....	39
5.3. Instrumentos y técnicas de análisis de la información .....	40
5.4. Hipótesis .....	40
5.5. Variables.....	41
<b>6. Procesamiento de datos y análisis de resultados .....</b>	<b>42</b>
6.1. Análisis de series temporales para los insumos .....	42
6.2. Análisis de regresión entre precios de insumos y precios de frutas y verduras .....	44
6.3. Análisis de series temporales para las frutas y verduras con mayor relación .....	49
<b>7. Discusión .....</b>	<b>53</b>
7.1. Situación actual.....	53
7.2. Oportunidades y propuestas.....	53
7.3. Limitaciones .....	54
<b>8. Conclusiones y Trabajo Futuro.....</b>	<b>56</b>
8.1. Conclusiones.....	56
8.2. Trabajo futuro.....	57
<b>9. Referencias.....</b>	<b>58</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> Valor agregado por actividad Económica, Tasa de Crecimiento anual (%) primer trimestre 2024/2023.....	10
<b>Figura 2</b> Variación anual (%) del PIB y del valor agregado de la actividad Económica agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca Primer trimestre 2009-2024 .....	11
<b>Figura 3</b> Tasa de crecimiento anual y participación por divisiones del valor agregado de la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca Primer trimestre de 2024 .....	11
<b>Figura 4</b> Población ocupada según rama de actividad económica Total nacional en Junio de 2024.....	12
<b>Figura 5</b> Índice de Precios al Consumidor Colombia 2005-2023.....	14
<b>Figura 6</b> Variación porcentual de precios de alimentos, cebolla, tomate, hortalizas y legumbres frescas.....	15
<b>Figura 7</b> Índice de precios y variación mensual de fertilizantes, plaguicidas y otros insumos (2019-2024) .....	18
<b>Figura 8</b> Índice de precios y variación mensual de fertilizantes simples y compuestos (2019-2024) .....	18
<b>Figura 9</b> Índice de precios y variación mensual de plaguicidas, herbicidas y funguicidas (2019-2024) .....	19
<b>Figura 10</b> Índice de precios y variación mensual coadyuvantes, reguladores y molusquicidas (2019-2024) .....	19
<b>Figura 11</b> Distribución investigaciones por área de estudios.....	24
<b>Figura 12</b> Variables relacionadas con los costos de la industria agroalimentaria.....	26
<b>Figura 13</b> Cadena de suministro esquemática de frutas y verduras.....	27
<b>Figura 14</b> Vista esquemática de los procesos principales involucrados en una cadena de suministro de productos frescos.....	28
<b>Figura 15</b> Esquema de influencia de variables del sector agroalimentario. ....	31

<b>Figura 16</b> <i>Afectación del Covid 19 en el suministro y transporte de alimentos. ....</i>	31
<b>Figura 17</b> <i>Tipos de interrupciones, partes interesadas, eslabones de la cadena de suministro, nivel de respuesta, tipo de métodos, objetivos, consideraciones y restricciones. ....</i>	33
<b>Figura 18</b> <i>Factores que afectan la seguridad alimentaria a través de la competitividad agrícola.....</i>	35
<b>Figura 19</b> <i>Matriz de estrategias reactivas tiempo/costo para PYME. ....</i>	37

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Detalle de la producción de los principales productos de la actividad agrícola Segundo trimestre 2024</i> .....	13
<b>Tabla 2</b> <i>Criterios de factibilidad del proyecto</i> .....	23
<b>Tabla 3</b> <i>Tipos de interrupciones en cadenas de suministro agroalimentarias</i> .....	34
<b>Tabla 4</b> <i>Factores del Índice de Competitividad Global</i> .....	35
<b>Tabla 5</b> <i>Descripción de variables</i> .....	41
<b>Tabla 6</b> <i>Series de tiempo para los 5 tipos de insumos agrícolas</i> .....	43
<b>Tabla 7</b> <i>Resultados de regresión múltiple del precio promedio de verdura en función de precios promedio de insumos agrícolas</i> .....	45
<b>Tabla 8</b> <i>Resultados de regresión múltiple del precio promedio de fruta en función de precios promedio de insumos agrícolas</i> .....	47
<b>Tabla 9</b> <i>Serie de tiempo top 5 frutas y verduras</i> .....	49

## **1. Introducción**

### **1.1. Tema de investigación**

Este estudio pertenece al campo de Ciencia, Tecnología e Innovación, con un enfoque en las cadenas de suministro sostenibles, aborda la dinámica económica del sector agrícola colombiano, analizando cómo los cambios en los precios de insumos clave como fertilizantes y plaguicidas afectan los precios de los alimentos. Además, identifica oportunidades para mejorar la eficiencia y la resiliencia frente a fluctuaciones de precios, con implicaciones para el desarrollo de políticas que promuevan una gestión más sostenible y competitiva del sector agroalimentario.

### **1.2. Antecedentes del problema**

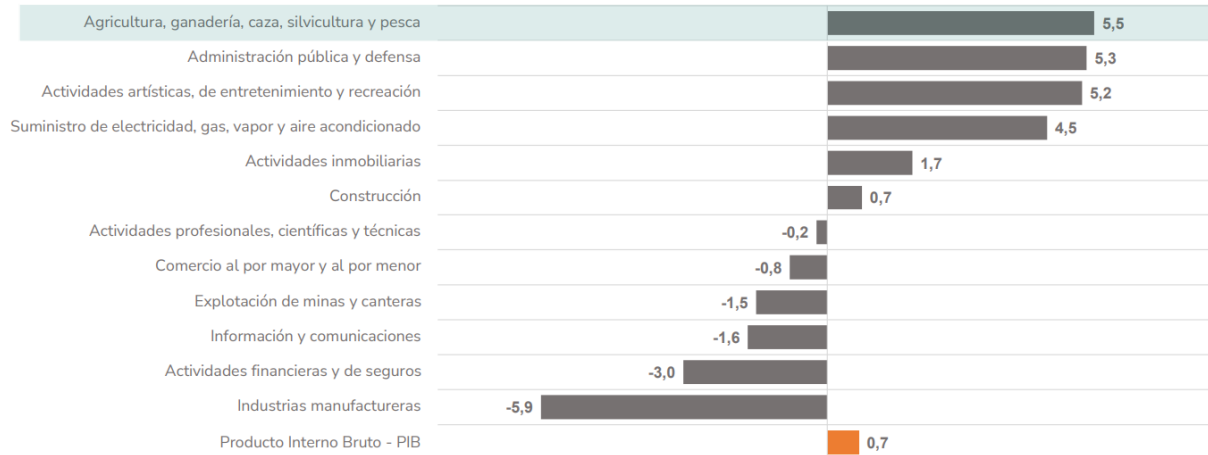
#### **1.2.1. Sector agrícola en Colombia**

Colombia tiene una vocación histórica en el sector agropecuario, que ha demostrado ser un motor clave de la economía nacional. Entre 2010 y 2017, se estima que el Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario creció un 25%, se crearon 290.000 empleos y sacó a 1,6 millones de personas de la pobreza. La apertura de mercados internacionales ha permitido exportar productos agrícolas a 60 países, y se han incrementado las hectáreas de siembra, produciendo más alimentos. Además, el país ha avanzado en la restitución de tierras y en la formalización del sector agrícola, aumentando significativamente la colocación de crédito para los productores (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

En el país, la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), tiene como objetivo entre otros, promover el desarrollo rural, la productividad y competitividad de los productos agropecuarios, mejorando las condiciones de vida, el uso de los recursos naturales, el empleo y el crecimiento de las regiones y el desarrollo socioeconómico del País (UPRA, n.d.). De acuerdo con esta entidad, la actividad la “Agricultura, ganadería, caza silvicultura y pesca” fue la actividad económica con mayor crecimiento en la economía colombiana en el primer trimestre de 2024, que de acuerdo con la Figura 1 representa un 5.5 %.

**Figura 1**

Valor agregado por actividad Económica, Tasa de Crecimiento anual (%) primer trimestre 2024/2023

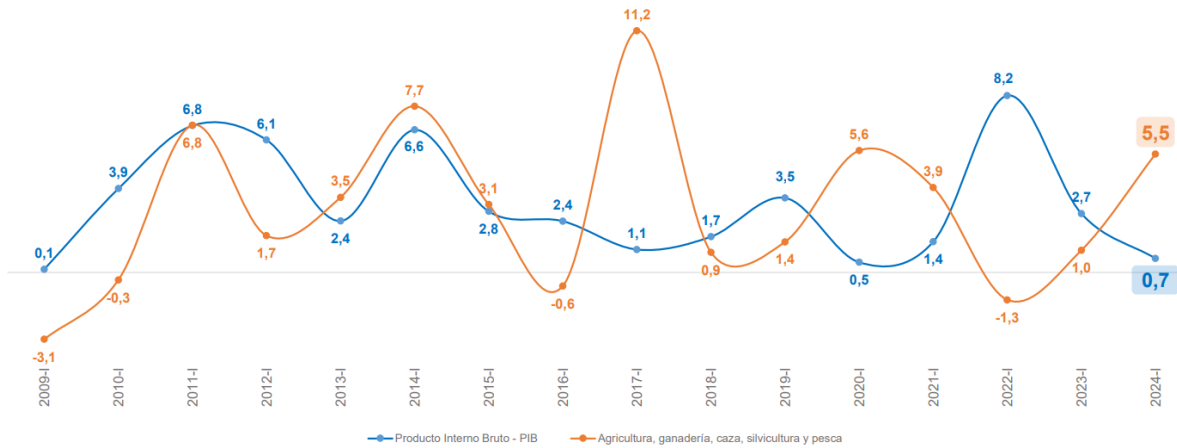


Fuente: (UPRA, 2024g)

Este sector económico ha presentado variaciones porcentuales del valor agregado desde el 2009 hasta el 2024, en la mayor parte de este periodo fueron incrementos positivos, siendo el 2022 un año atípico en el que se redujo significativamente por las condiciones del país derivadas de la pandemia. La Figura 2 muestra que el sector agrícola ha tenido un desempeño cíclico con picos en 2015 (11,2%) y 2024 (5,5%), superando al PIB total en varios momentos. En 2024, el crecimiento agrícola (5,5%) fue notablemente mayor que el del PIB general (0,7%), lo que resalta la importancia del sector para la economía colombiana, especialmente en tiempos de desaceleración económica.

**Figura 2**

Variación anual (%) del PIB y del valor agregado de la actividad Económica agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca Primer trimestre 2009-2024

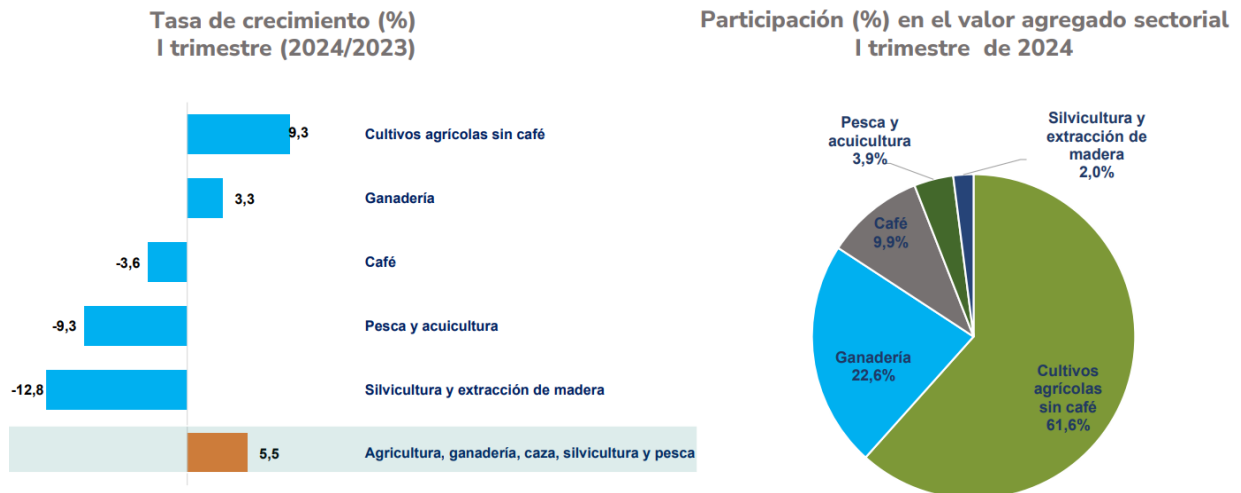


Fuente: (UPRA, 2024g)

Dentro de este sector económico, los cultivos agrícolas sin café son los que mayor participación reflejan en el valor agregado sectorial (61,6%), seguidos por la ganadería (22,6%), café (9,9%), pesca y acuicultura (3,9%) y por último la silvicultura y extracción de madera (2,0%), como se puede apreciar en la Figura 3.

**Figura 3**

Tasa de crecimiento anual y participación por divisiones del valor agregado de la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca Primer trimestre de 2024

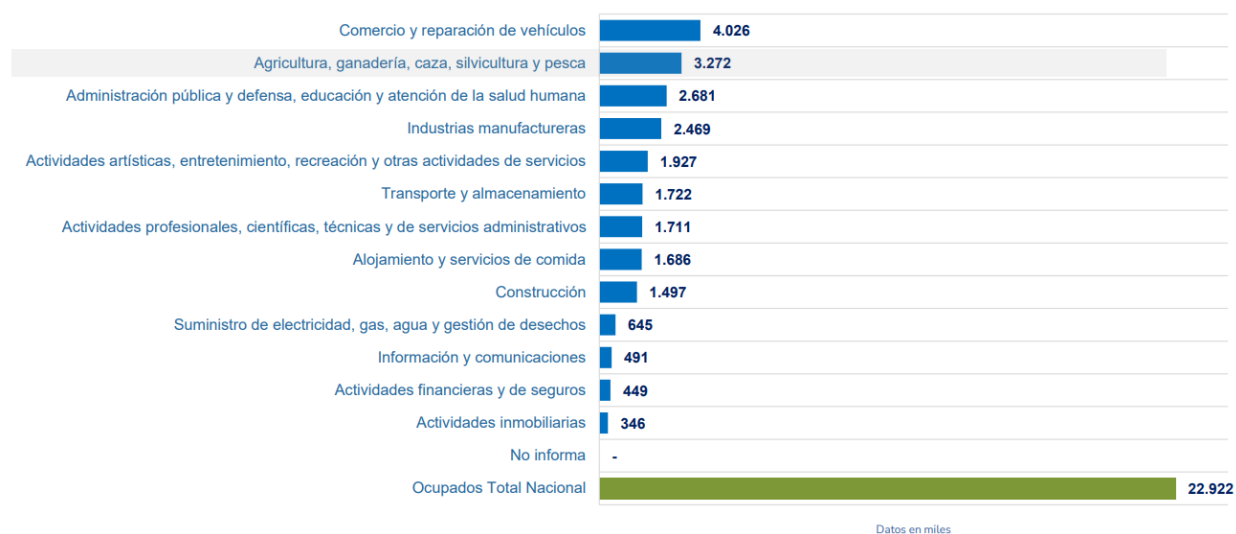


Fuente: (UPRA, 2024g)

En cuanto a la creación de empleo, la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca fue la segunda actividad económica que más personas ocupó en el mes de junio de 2024 con cerca de 3,3 millones de ocupados (14,3%) de acuerdo con la Figura 4 (UPRA, 2024a).

**Figura 4**

*Población ocupada según rama de actividad económica Total nacional en Junio de 2024*



*Fuente:* (UPRA, 2024g)

Las cifras mencionadas son coherentes con el segundo trimestre de 2024, periodo en el cual según el DANE el PIB crece 2,1% respecto al mismo periodo de 2023, para dicho trimestre es la actividad económica que más contribuye a la dinámica del valor agregado con un crecimiento de 10,2%. Específicamente el mayor aporte a este crecimiento se debe a los Cultivos agrícolas transitorios y cultivos agrícolas permanentes y al cultivo de café. Dentro de los cultivos agrícolas transitorios y cultivos agrícolas permanentes, los productos que representan mayores tasas de crecimiento son las leguminosas (34,9%), café (31,8%), frutas cítricas (23,6%), flores (13,3%) y cacao (10,2%), estas cifras se resumen en la Tabla 1 (DANE, 2024a).

**Tabla 1***Detalle de la producción de los principales productos de la actividad agrícola Segundo trimestre 2024*

<b>Cultivos agrícolas transitorios; cultivos agrícolas permanentes</b> <sup>1-2</sup>	<b>Tasa de crecimiento anual (%)</b>
	<b>2024<sup>PR</sup>-II / 2023<sup>PR</sup>-II</b>
Arroz	-12,9
Leguminosas frescas o secas	34,9
Café pergamino	31,8
Otras frutas	5,9
Frutas cítrica	23,6
Granos de cacao	10,2
Nuez y fruto de palma	0,8
Caña de azúcar	-19,3
Caña panelera	1,4
Flores (rosas, claveles y pompones)	13,3

*Fuente: (DANE, 2024a).*

### 1.2.2. Importaciones y exportaciones

Las anteriores cifras reflejan el evidente aporte de la actividad económica “Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca” al PIB y la creación de empleo en Colombia. De hecho la variedad y calidad de los productos colombianos ha permitido las exportaciones de productos agropecuarios y agroindustriales a diferentes destinos alrededor del mundo, siendo el principal destino de exportación Estados Unidos y los principales productos exportados el Banano (293.429 toneladas enero-marzo 2023 y 555.018 toneladas enero-marzo 2024), el café (152.404 toneladas enero-marzo 2023 y 157.400 toneladas enero-marzo 2024) y las Flores (81.010 toneladas enero-marzo 2023 y 86.874 toneladas enero-marzo 2024) según cifras del Boletín de exportaciones de productos agropecuarios de la UPRA (2024)(UPRA, 2024b).

Sin embargo, también se identifica una aparente dependencia de las importaciones de algunos productos alimenticios. Particularmente el maíz y el trigo son los productos agrícolas más importados en el país, pues según el Boletín de importaciones de productos agropecuarios de la UPRA (2024), en 2023 de enero a mayo se importaron alrededor de 2,5 millones de

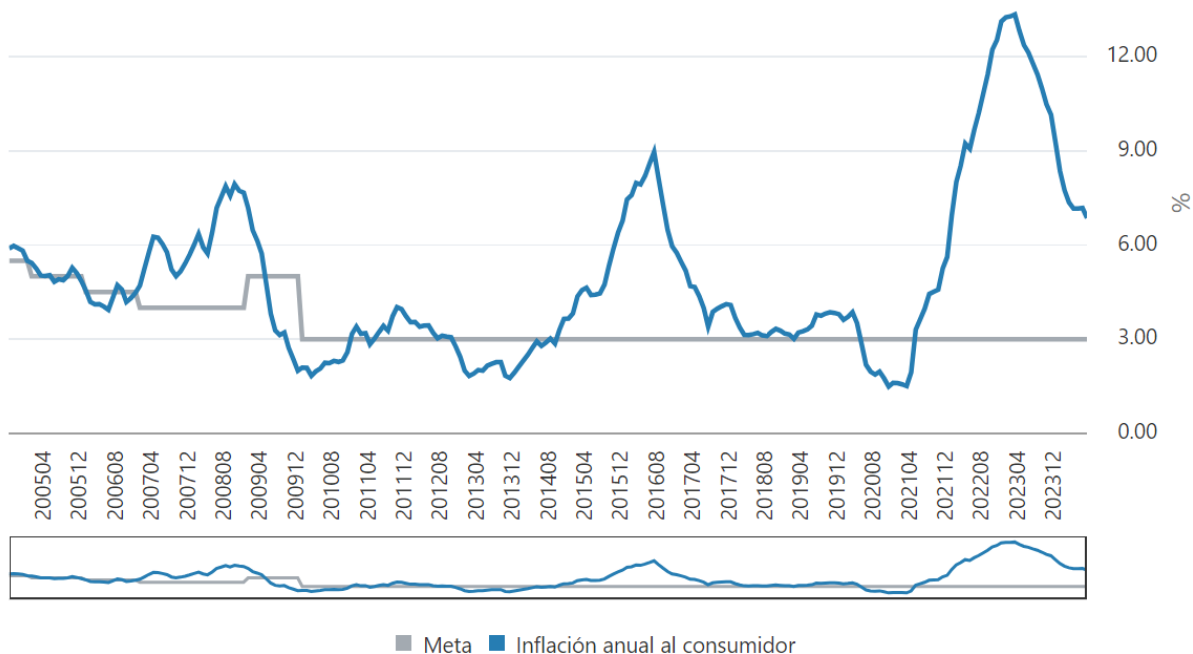
toneladas y en 2024 más de 2,8 millones de toneladas de maíz, respecto al trigo las importaciones superaron las 750 mil toneladas en 2023 y 920 mil toneladas en los mismos meses de 2024 (UPRA, 2024d).

### 1.2.3. Índice de Precios al Consumidor

Además de las cifras de producción agrícola, importaciones y exportaciones mencionadas anteriormente, el índice de precios al consumidor (IPC) es otro indicador que complementa el contexto colombiano pues mide la evolución del costo promedio de una canasta de bienes y servicios representativa del consumo final de los hogares (Banrep, 2024). Para Colombia desde 2005 hasta el 2024 ha tenido importantes variaciones, de las cuales se resalta el crecimiento que se dio entre el 2021 y 2023 que supuso un incremento de precios y una disminución importante del poder adquisitivo de los colombianos.

**Figura 5**

*Índice de Precios al Consumidor Colombia 2005-2023*



*Fuente:* (Banco de la República de Colombia, 2024)

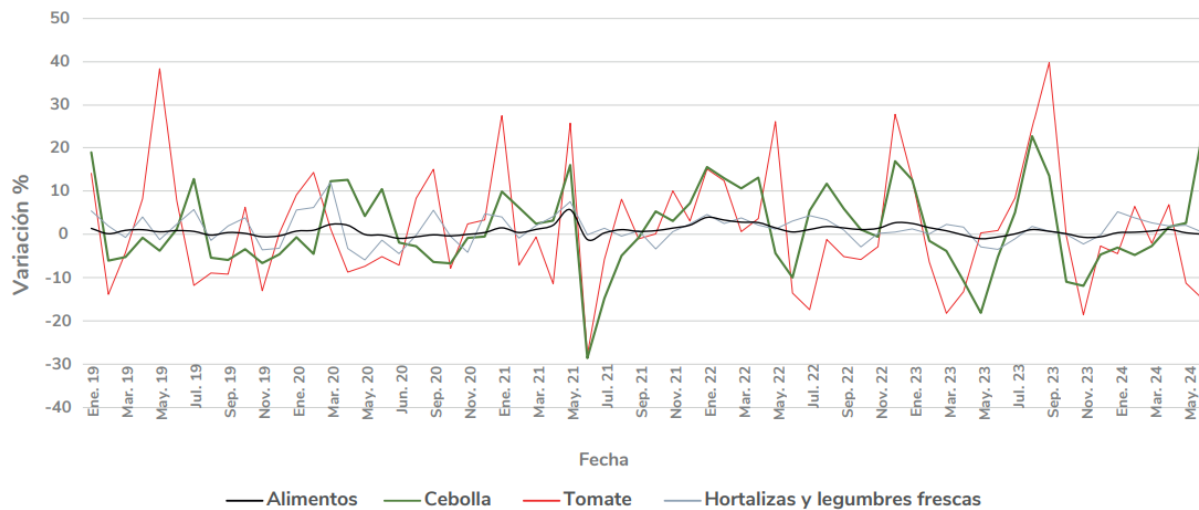
Parte importante de los productos incluidos para el cálculo del IPC son los alimentos, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural resaltó que los precios de los alimentos y bebidas no

alcohólicas fueron claves para mantener la tendencia de reducción de la inflación que se dio posterior a la pandemia (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024). La pandemia reveló vulnerabilidades por interrupciones en las cadenas de suministro, aumento de precios en materias primas, y la depreciación del peso frente al dólar, exacerbados por la dependencia del país en las importaciones, afectando especialmente a las zonas rurales más aisladas donde los costos logísticos son mayores (Sánchez, 2022).

**1.2.4. Precios de los Productos agropecuarios**

En el país, el Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA) informa los precios mayoristas de los productos agroalimentarios que se comercializan en el país, así como la información de insumos y factores asociados a la producción agrícola y el nivel de abastecimiento de alimentos en las ciudades. El sistema toma la información de precios mayoristas de alimentos frescos y procesados, en más de 61 mercados para una canasta de cerca de 400 productos (DANE, 2024b).

**Figura 6** Variación porcentual de precios de alimentos, cebolla, tomate, hortalizas y legumbres frescas



Fuente: elaboración propia con base en el IPC del DANE (2021-2024).

Fuente: IPC del DANE (2021-2024)

Según este sistema, existen importantes variaciones porcentuales en los precios de los alimentos a lo largo de los años, un ejemplo de ello son las cifras que se presentan en la Figura 6, donde las fluctuaciones percibidas son muy marcadas para ciertos periodos.

En general, las razones de la alta variabilidad de los precios de los productos agrícolas dependen de múltiples factores, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), afirma que los precios de los productos agrícolas son influenciados principalmente por tres factores (Shepherd, 2001):

- **Oferta:** La disponibilidad de productos agrícolas depende de la estacionalidad, la cantidad sembrada, las condiciones climáticas y las necesidades familiares de los agricultores, estos factores impactan la tendencia de los precios en el tiempo.
- **Demanda:** La demanda fluctúa según el precio, con los consumidores ajustando su consumo según los niveles de precios, afectando a su vez la dinámica de precios.
- **Época del año:** Los precios siguen patrones estacionales, con variaciones predecibles a lo largo del año, lo que permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre su producción.

Según Franco (2022), en Colombia, el aumento de los precios de los alimentos se relaciona con la tensión entre la oferta y la demanda, el incremento en los costos de producción y circulación, la especulación financiera, la asimetría de información, la falta de herramientas de gestión de riesgos, la operación a pequeña escala de los agricultores, las condiciones climáticas, y la creciente competencia en el mercado global. La combinación de estos factores influenciados por políticas agrarias y la expectativa de precios altos o bajos influye en las decisiones de siembra de los agricultores, generando ciclos de oferta que alternan entre exceso y escasez, lo que a su vez provoca fluctuaciones en los precios. Además, la volatilidad se ve aumentada por eventos geopolíticos, costos de energía, políticas gubernamentales y crisis globales como el COVID-19 (Franco Estupiñán & Ochoa Arciniegas, 2022).

En concordancia, el aumento de los precios agrícolas puede atribuirse a varios factores interrelacionados (Roitbarg, 2021):

- Restricción de oferta y uso intensivo de recursos: La disminución de tierras agrícolas de alta calidad y el uso intensivo de técnicas de producción más costosas (como fertilizantes y pesticidas) han elevado los costos. En países desarrollados, la intensificación en lugar de expansión ha llevado a una mayor producción, pero a un mayor costo. En contraste, en países en desarrollo, la combinación de intensificación y expansión ha resultado en mayor deforestación y conversión de tierras, contribuyendo al aumento de precios.
- Aumento en costos de insumos: El encarecimiento del petróleo, un insumo clave para la agricultura (utilizado en combustibles y fertilizantes), ha incrementado los costos de producción. Además, el aumento en los salarios reales también ha jugado un papel importante en elevar los precios agrícolas.
- Progreso técnico lento: La baja inversión en investigación y desarrollo ha limitado el avance en la productividad agrícola, lo que ha contribuido a mantener altos los costos de producción.

#### **1.2.5. Precios de los Insumos Agrícolas**

La Ley 2183 de 2022 define los insumos agropecuarios como productos naturales, biotecnológicos o químicos utilizados en la producción agropecuaria (Ley 2183 Del 6 de Enero de 2022, 2022). Durante el periodo enero - septiembre de 2021 el encarecimiento de los insumos del agro llegó a 34,89% y durante el mismo periodo en 2022 llegó a 29,4%, dichos incrementos afectaron el precio de los productos y el costo de la producción de alimentos (Estrada, 2022). La caída en los precios de los fertilizantes favoreció la estabilización de los precios de los insumos y productos (Agronet, 2022).

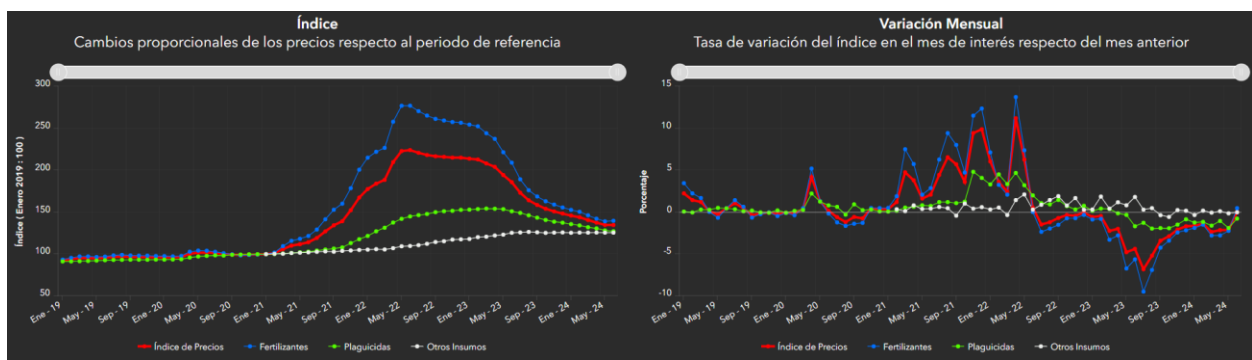
El informe de los precios de insumos agrícolas, fertilizantes, plaguicidas y otros insumos es emitido por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria

(UPRA). A continuación, se describen los índices y variaciones mensuales de 2019 a 2024 para Colombia.

**1.2.5.1. Índice de Precios de Insumos Agrícolas:** mide la variación promedio mensual de los precios de los fertilizantes, plaguicidas y otros insumos entre coadyuvantes, reguladores fisiológicos y molusquicidas, más utilizados en la actividad agrícola, en el mercado minorista (UPRA, 2024e).

**Figura 7**

*Índice de precios y variación mensual de fertilizantes, plaguicidas y otros insumos (2019-2024)*

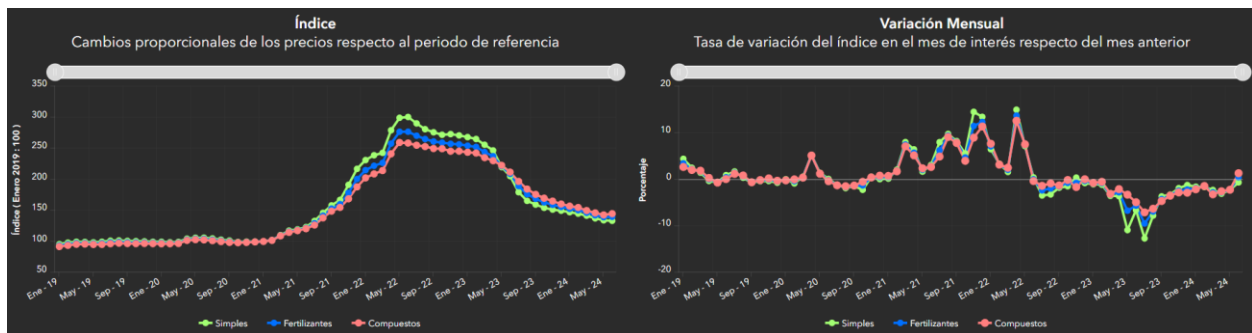


Fuente: (UPRA, 2024e)

**1.2.5.2. Índice de Precios de Fertilizantes:** Mide la variación promedio mensual de los precios de los principales productos fertilizantes, agrupados entre simples y compuestos, en el mercado minorista (UPRA, 2024c).

**Figura 8**

*Índice de precios y variación mensual de fertilizantes simples y compuestos (2019-2024)*

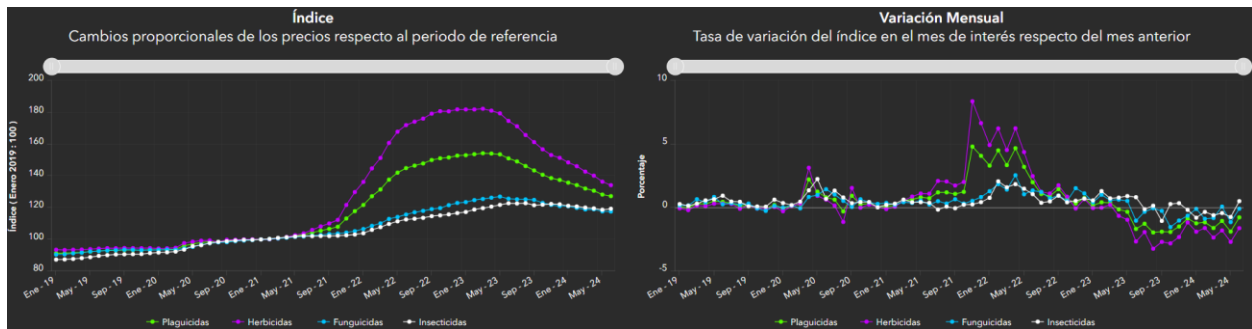


Fuente: (UPRA, 2024c).

**1.2.5.3. Índice de Precios de Plaguicidas** Mide la variación promedio mensual de los precios de los principales productos plaguicidas, agrupados entre fungicidas, herbicidas e insecticidas, en el mercado minorista (UPRA, 2024f).

**Figura 9**

*Índice de precios y variación mensual de plaguicidas, herbicidas y fungicidas (2019-2024)*

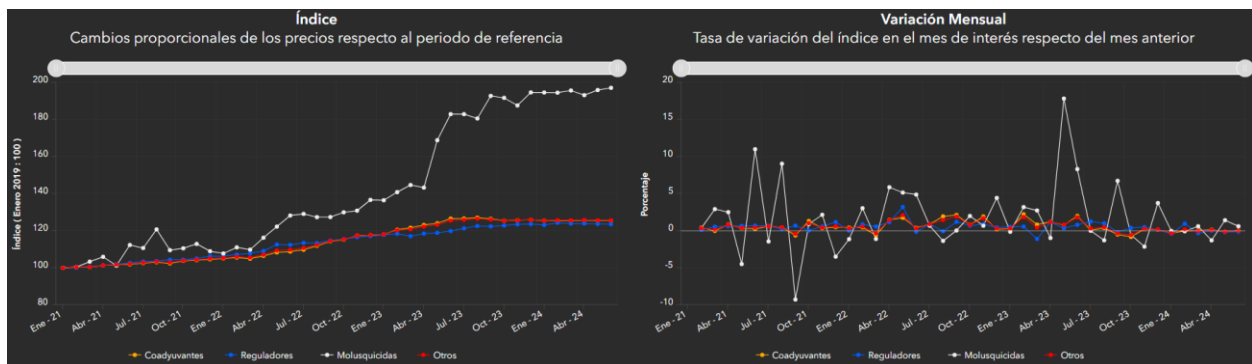


Fuente: (UPRA, 2024f).

**1.2.5.4. Índice de Precios de Otros Insumos** Mide la variación promedio mensual de los precios de los principales productos de otros insumos, entre coadyuvantes, reguladores fisiológicos y molusquicidas, en el mercado minorista (UPRA, 2024c).

**Figura 10**

*Índice de precios y variación mensual coadyuvantes, reguladores y molusquicidas (2019-2024)*



Fuente: (UPRA, 2024c).

Teniendo en cuenta las anteriores gráficas es posible concluir que el Índice de Precios de Insumos Agrícolas, Índice de Precios de Fertilizantes, Índice de Precios de Plaguicidas e Índice de Precios de Otros Insumos, tienen comportamientos similares donde hay leve crecimiento

desde 2019 a 2021, entre 2021 y 2022 el crecimiento es mucho más pronunciado y a partir de este año hay una reducción hasta 2024.

### **1.3. Descripción del problema**

Como se mencionó anteriormente, en Colombia, la agricultura es un sector clave para la economía, las fluctuaciones en los precios de insumos agrícolas, fertilizantes y plaguicidas tienen un aparente impacto directo en los costos de producción. Estas fluctuaciones pueden afectar significativamente los precios de venta de alimentos, especialmente en un entorno marcado por factores económicos y políticos que influyen en la estabilidad del mercado. La reciente crisis global de suministro y el aumento de los costos energéticos han exacerbado la volatilidad en los precios de insumos, lo que podría haber tenido repercusiones notables en el mercado alimentario colombiano. Si bien los datos históricos de numerosos indicadores están disponibles y visibles para la consulta ciudadana, y diversos autores postulan relaciones entre los indicadores, la información es limitada respecto a la relación entre los Precios de Insumos Agrícolas del UPRA y los Precios del Sector Agropecuario del SIPSA para Colombia.

El estudio se centrará en entender cómo los cambios en los precios de insumos agrícolas entre 2018 y 2023 han influido en los precios de venta de alimentos en Colombia. Aunque existe evidencia de que las variaciones en los costos de insumos afectan los precios al consumidor, la magnitud y el mecanismo de esta influencia en el contexto colombiano durante este periodo específico no han sido ampliamente estudiados. Este análisis permitirá identificar los factores que amplifican o mitigan estas variaciones de precios, proporcionando una visión más clara para los actores de la cadena de suministro.

### **1.4. Pregunta de investigación**

¿Cómo influyen los Precios de Insumos Agrícolas (UPRA) en los Precios del Sector Agropecuario (SIPSA) de frutas y verduras entre 2018 y 2023 en el mercado colombiano?

Para abordar esta pregunta de investigación se realiza el planteamiento de objetivos y justificación, se desarrolla un marco teórico, y se aplica una metodología que permite obtener

resultados cuantitativos que se analizan y discuten para generar conclusiones, en las siguientes secciones se abordan en detalle estos elementos.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Analizar la relación entre los precios promedio de insumos agrícolas y los precios de venta de alimentos en el mercado colombiano durante el período 2018-2023, utilizando técnicas de análisis de series temporales y métodos de regresión.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Realizar una revisión de literatura del impacto de factores externos en la relación entre los precios de insumos agrícolas y los precios de alimentos en Colombia.
- Describir las tendencias de los Precios de Insumos Agrícolas (UPRA) y los Precios del Sector Agropecuario (SIPSA) de alimentos en Colombia entre 2018 y 2023.
- Aplicar modelos econométricos de series temporales y métodos de regresión para identificar patrones o relaciones en los Precios de Insumos Agrícolas (UPRA) y en los Precios del Sector Agropecuario (SIPSA) de alimentos en Colombia entre 2018 y 2023.
- Proponer recomendaciones para los productores y distribuidores en Colombia sobre cómo mitigar los efectos de la volatilidad de precios en la cadena de suministro de alimentos.

### 3. Justificación

Según lo mencionado en el planteamiento del problema, la investigación es conveniente debido a varias razones: En primer lugar, la agricultura es un sector vital para la economía del país, caracterizar su comportamiento facilitará la toma de decisiones informadas; las fluctuaciones en los precios de insumos como fertilizantes y plaguicidas tienen un impacto en los costos de producción, lo que a su vez afecta los precios de los alimentos y en consecuencia afecta el bienestar de los consumidores, especialmente en zonas rurales y entre las poblaciones más vulnerables, esto aporta relevancia social al proyecto.

En segundo lugar, el proyecto ofrece valor teórico al explorar una dinámica poco estudiada en Colombia, contribuyendo al cuerpo de conocimiento sobre la relación entre los precios de insumos y productos agrícolas en economías emergentes, pues a pesar de la existencia de datos sobre estos factores, hay una falta de estudios específicos que analicen estas relaciones en el contexto colombiano. Esta investigación abordará ese vacío con el uso de modelos econométricos para identificar patrones o relaciones entre los precios de insumos y los precios de alimentos proporcionando información sobre la dinámica de precios en el sector agrícola.

En tercer lugar, un enfoque ampliado podría ayudar a anticipar futuras fluctuaciones de precios y a diseñar estrategias para reducir su impacto en el mercado, lo cual tiene implicaciones prácticas en la competitividad del sector alimentario en Colombia, la estabilidad de los precios y la sostenibilidad de la cadena de suministro de alimentos. Así mismo, desde un punto de vista empresarial, se espera que los resultados de esta investigación permitan a las empresas del sector agrícola diseñar mecanismos para reducir la incertidumbre en sus costos de producción, esto es particularmente relevante en un entorno donde las tendencias económicas globales y locales han afectado la cadena de suministro alimentaria.

En línea con lo descrito, la Tabla 2 fue empleada para definir la factibilidad de la investigación, en ella se genera una calificación para cinco criterios, donde uno es la menor calificación y cinco

la mayor calificación, como resultado se obtiene un valor promedio de 4,6 de lo cual se concluye que la investigación es factible.

**Tabla 2**

*Criterios de factibilidad del proyecto.*

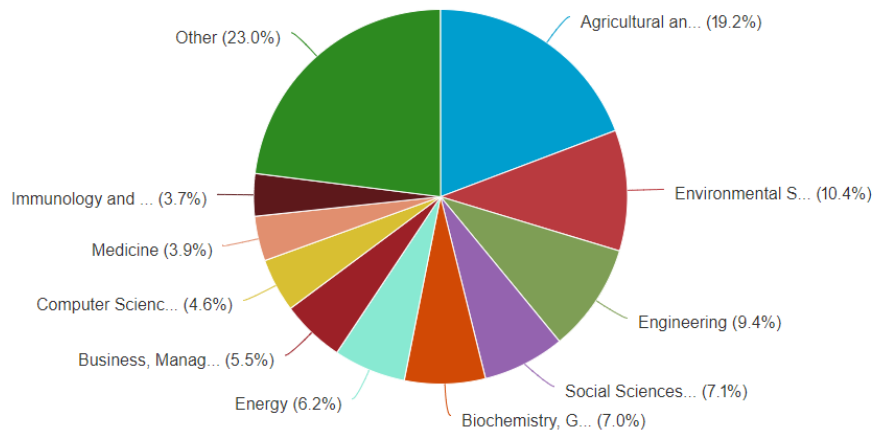
Criterio	Factibilidad
Acceso a la información	5
Apoyo e interés de colaboradores o aliados	4
Disponibilidad de recursos requeridos	5
Probabilidad de avance en el tiempo establecido	5
Probabilidad de continuidad o implementación de la investigación	4
Promedio	4,6

#### 4. Marco Teórico

La construcción del marco teórico parte de una revisión sistemática de literatura con la ecuación de búsqueda (price\* OR cost\*) AND ("supply chain\*") AND ("food" OR "agricultural"), se aplicó en Scopus obteniendo un total de 5734 resultados, que se limitaron a “review”, reduciendo la búsqueda a 432 documentos. Basado en los resultados se identifica que la tendencia en investigación al respecto ha crecido desde 2016 hasta la actualidad, se encontró que los países que dominan la investigación en estas temáticas son Estados Unidos, India, Reino Unido, Italia y China, siendo Ciencias Agrícolas y Biológicas, Ciencias Ambientales, Ingeniería y Ciencias Sociales las áreas más investigadas

**Figura 11**

*Distribución investigaciones por área de estudios*



*Fuente: Scopus*

Posteriormente se depuraron los resultados por título y resumen conservando los 40 más relacionados con la investigación que se analizaron a profundidad. Este análisis permitió identificar conceptos clave relacionados con precios y costos, teorías y modelos aplicables que se presentan más adelante.

##### 4.1. Conceptos Clave

Según el Diccionario de la Real Academia Española (RAE), se tienen las siguientes definiciones para los conceptos clave de este proyecto: El precio es “el valor pecuniario en que

se estima algo”(RAE, 2024c), de igual forma el costo es “la cantidad que se da o se paga por algo”(RAE, 2024a) y los mercados son “conjuntos de actividades realizadas libremente por los agentes económicos sin intervención del poder público” (RAE, 2024b).

#### **4.2. Teoría de Precios y Mercados**

Durante las últimas décadas, se ha creído que las variaciones de los precios en los productos agrícolas se deben únicamente a los comportamientos de la oferta y la demanda. Sin embargo, estas fluctuaciones son resultado de factores tanto de la producción como del mercado (Majano & Méndez, 1989).

Por ejemplo, la tecnología tiene un efecto en la producción, pues una agricultura tecnológicamente dinámica puede desarrollar una oferta mucho más adecuada para el mercado, lo que se traducirá en un desarrollo agrícola que, con el tiempo, generará un aumento en la demanda (Rev.econ.inst, 2006). Además, los precios de los insumos también se determinan durante su producción por factores como la cadena de suministro, la accesibilidad al producto, la adopción de tecnología y la expansión de los mercados (BIS Research, 2023).

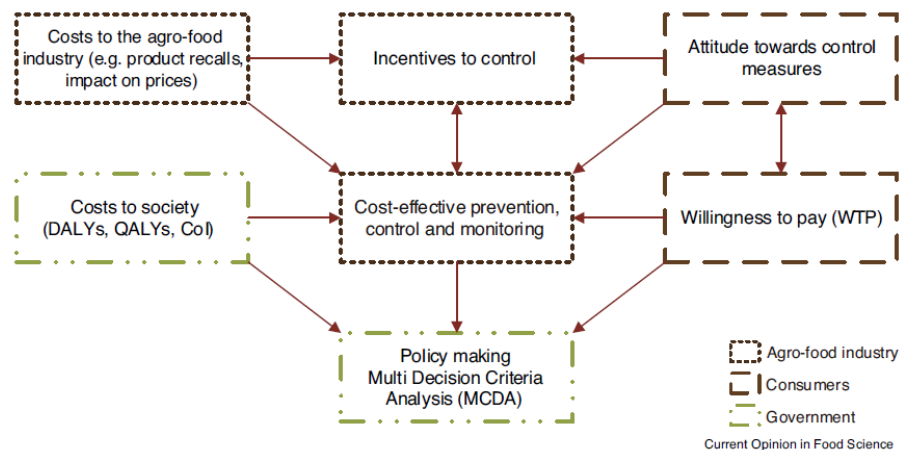
En Colombia, la oferta y demanda de insumos agrícolas (fertilizantes, pesticidas, semillas, maquinaria) dependen de varios factores externos, como los costos de producción, las tecnologías disponibles y las expectativas de demanda futura. Estos factores influyen en el comportamiento de los consumidores, quienes buscan una relación costo-beneficio acorde con sus ingresos y ubicación. Idealmente, el equilibrio de mercado se alcanza cuando estos factores están completamente alineados. Sin embargo, en una economía emergente como la colombiana, la intervención del gobierno es requerida para garantizar subsidios, logística, regulaciones y controles de precios, especialmente considerando que los mercados agrícolas se encuentran a menudo en las zonas más apartadas del país.

### 4.3. Modelos de determinación de precios

En el contexto de la presente investigación hay diversos costos inmersos que afectan a las diferentes partes interesadas, según Focker & van der Fels-Klerx (2020), la relación entre variables se detalla en la Figura 12.

**Figura 12**

*Variables relacionadas con los costos de la industria agroalimentaria*



*Fuente:* (Focker & van der Fels-Klerx, 2020)

La anterior figura especifica que los costos no son solamente atribuidos a productores y consumidores, sino que se perciben de la siguiente manera:

- Industria Agroalimentaria: Asume costos de prevención, control, monitoreo y recalls.
- Consumidores: Experimentan pérdidas en calidad de vida y aumentos en precios de alimentos e impuestos.
- Gobierno: Cubre costos de regulación, control oficial, vigilancia de enfermedades, y gestión de crisis, además impactos indirectos en la productividad y costos médicos.

Las causas de los picos de precios de los alimentos son complejas y su impacto en los distintos países varía según los niveles de producción y las diversas políticas vigentes, incluyendo el aumento de la demanda, la volatilidad en la producción debido a eventos climáticos extremos, la competencia por tierras entre cultivos agrícolas e industriales (como los

biocombustibles), restricciones comerciales y fluctuaciones en las tasas de cambio (Bobojonov et al., 2020).

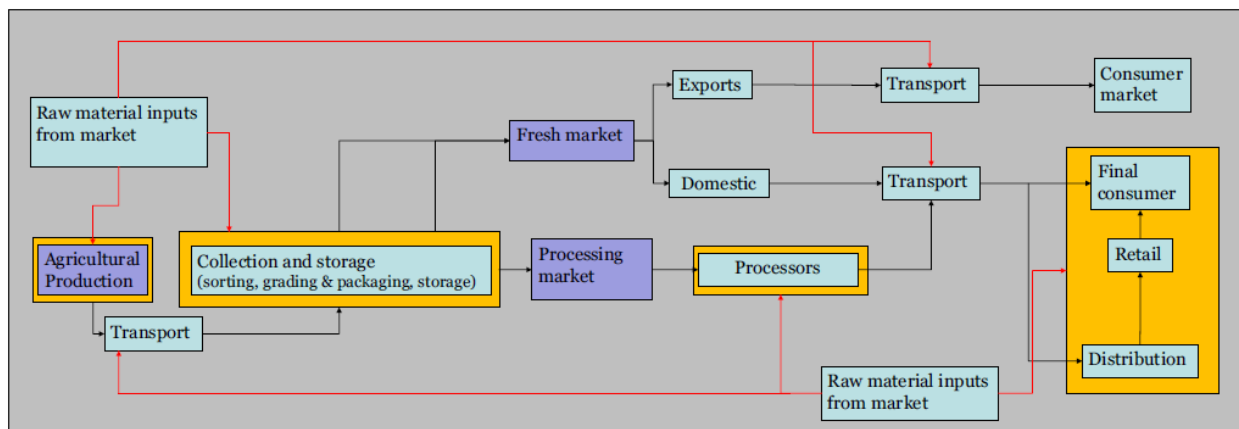
#### 4.4. Cadena de suministro de alimentos

El consumo de frutas y verduras es esencial en todo el mundo debido a su contenido de vitaminas, fibras y minerales, pero requieren cadenas de suministro eficientes debido a su perecibilidad. En las últimas décadas, la cadena de suministro de productos agrícolas, ha ganado importancia estratégica para el desarrollo económico. A pesar de los beneficios económicos de la producción, esta enfrenta desafíos significativos como el cambio climático, la escasez de agua, y la volatilidad de precios. El manejo eficiente de la producción y distribución es complejo debido a la corta vida útil y la estacionalidad de estos productos (Nguyen et al., 2021).

Típicamente la cadena de suministro de frutas y verduras inicia con la producción agrícola que se colecta y almacena para su transporte para la venta como producto fresco o como materia prima para la transformación; en la venta como producto fresco se destina para consumo local o para exportación, en el caso de materia prima para la transformación se transporta a transformadores que los procesan para la obtención de otros productos que se distribuyen para comercialización al por menor o por mayor y posterior consumo. Los flujos de la cadena descrita se ilustran en la Figura 13 (Parajuli et al., 2019)

**Figura 13**

*Cadena de suministro esquemática de frutas y verduras.*

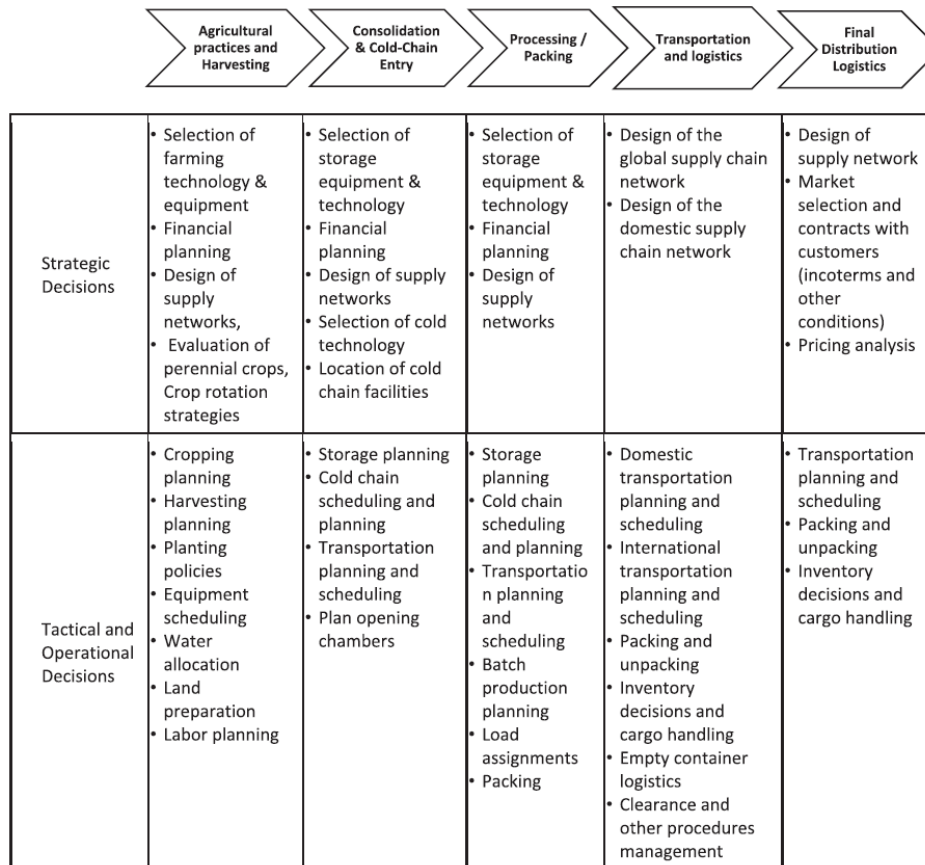


Fuente: (Parajuli et al., 2019)

Según Villalobos et al (2019), la cadena de suministro agroalimentaria está compuesta por cinco procesos principales involucrados: (1) Prácticas agrícolas y cosecha, (2) Consolidación y entrada en cadena de frío, (3) Procesamiento y embalaje, (4) Logística de transporte y (5) Logística de distribución final (Villalobos et al., 2019). Cada uno de estos procesos involucra decisiones que afectan los procesos precedentes o posteriores, estas decisiones se pueden categorizar como estratégicas, tácticas y operacionales, en el siguiente esquema se detallan las decisiones involucradas:

Figura 14

Vista esquemática de los procesos principales involucrados en una cadena de suministro de productos frescos.



Fuente: (Villalobos et al., 2019)

Las prácticas comerciales de los proveedores clave pueden empañar fácilmente la reputación corporativa, y el impacto estratégico que puede incluir la interrupción de negocios e incluso el

fracaso empresarial (Wright et al., 2007). Diversos autores han estudiado las barreras que enfrentan los productores, destacando los altos costos de conformidad, los problemas de organización o gobernanza, la apropiación de valor por actores más poderosos, la falta de información o apoyo, la burocracia y conflictos internos (Cardoso et al., 2022), lo cual puede impactar no solo en los ingresos de cada eslabón de la cadena, sino en los precios percibidos por los consumidores.

Del proceso descrito dependen factores relacionados con la eficiencia, por ejemplo, en el manejo de los productos que trae consigo altos niveles de desperdicios, pues se estima que globalmente cada año se generan 2,4 Mt de pérdida por desperdicio de productos frescos entre la puerta de la granja y la venta minorista para productos locales e importados, lo que representa el 36% del suministro total mundial (Gage et al., 2024). Aunque diversas iniciativas propenden por la optimización de los recursos naturales con el uso de desechos de valor añadido para reducir la pérdida y desperdicio de alimentos, la cadena de suministro agroalimentaria genera grandes cantidades de residuos o subproductos, que en muchos casos causan serios problemas ambientales y altos costos para las empresas (Berenguer et al., 2023).

La seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola son esenciales para una sociedad equitativa y saludable, pero, factores como el aumento de la demanda de alimentos, las crecientes desigualdades, el cambio climático y las pandemias contribuyen a una crisis alimentaria global en la que alrededor de 30% de la población mundial no tiene acceso regular a alimentos adecuados (Sridhar et al., 2023). Esto se debe en parte a que la cadena de suministro agroalimentaria presenta características particulares, como la perecibilidad de los productos, la gran diferenciación de los mismos y los estrictos requisitos de seguridad, lo que provoca que se pierda y desperdicie un tercio de su producción. Además, esta cadena emite anualmente el equivalente a 3,6 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> (Rico Lugo et al., 2023).

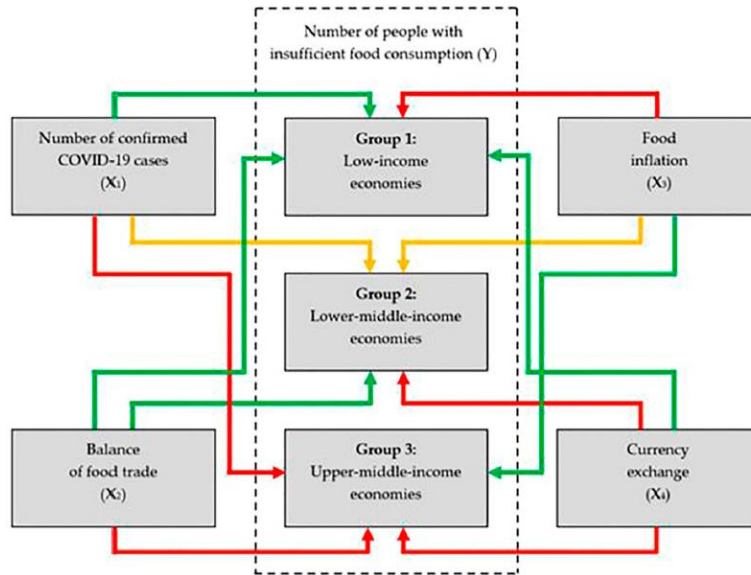
#### **4.5. Impacto de Factores Externos**

Las elecciones alimentarias están determinadas principalmente por el precio, la conveniencia, el sabor y la salud (Van Bussel et al., 2022), la confianza del consumidor en los alimentos y el sistema alimentario se establece a través de las garantías relacionadas con los productos alimenticios individuales y los actores del sistema alimentario (Wu et al., 2021).

La pandemia de COVID-19 ha impactado severamente la economía global, especialmente en el sector alimentario y agrícola, debido a los confinamientos y cierres de mercados. Aunque la demanda de alimentos se mantuvo, las restricciones para controlar el virus interrumpieron las cadenas de suministro, agravando la escasez de alimentos en muchos países, sobre todo en los menos desarrollados. Estos países enfrentan mayores dificultades debido a su falta de protección contra crisis globales, atraso tecnológico y limitaciones de acceso (Hamid & Mir, 2021). Algunos impactos se materializaron en la vida económica, ambiental y social a nivel global por la falta de mano de obra, restricciones de viaje y cambios en la demanda durante los confinamientos. Esto resultó en inseguridad alimentaria por la disminución en la producción de alimentos y el aumento de precios, afectando particularmente a los hogares de bajos ingresos. En la siguiente figura se identifican algunas variables relacionadas con estos ámbitos y su relación.

**Figura 15**

*Esquema de influencia de variables del sector agroalimentario.*



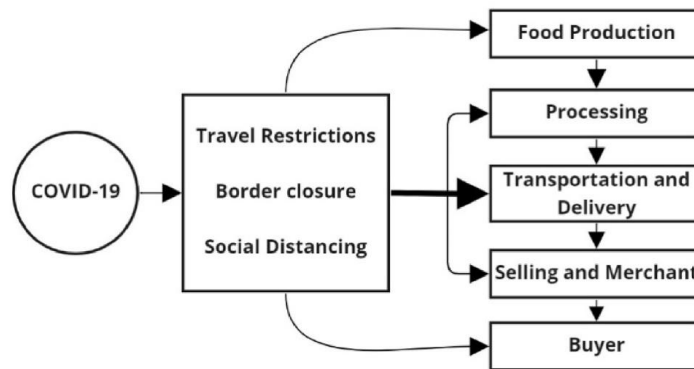
| Summary of X (FAO and WHO, 2020; Hamid et al., 2020; IATA, 2020; WHO, 2020a) effects on Y across three groups of countries where Green showing weak influence; yellow shows medium influence and Red showing strong influence (Source: Erokhin and Gao (McMichael, 2004).

*Fuente:* (Hamid & Mir, 2021)

Las ramificaciones actuales y posteriores a la pandemia podrían reducir la producción agrícola debido a las limitaciones a la migración, una desaceleración del comercio internacional, una menor capacidad de compra y perturbaciones en la producción y el procesamiento de alimentos (Maqbool et al., 2024), la relación de estos elementos fue definida por Maqbool et al. (2024) en la Figura 16:

**Figura 16**

*Afectación del Covid 19 en el suministro y transporte de alimentos.*



*Fuente: (Maqbool et al., 2024).*

Los mismos autores recomiendan mejorar la producción sostenible, facilitar el comercio, garantizar la seguridad alimentaria, y mejorar la resiliencia. También destacan la necesidad de reevaluar las cadenas de suministro de alimentos apoyando a los pequeños productores y las asociaciones agrícolas para mantener la productividad y las líneas de suministro abiertas, siendo la descentralización de las instalaciones de producción una opción para reducir costos y emisiones, y mejorar el acceso a alimentos frescos y naturales (Maqbool et al., 2024). Adicionalmente, otros expertos recomiendan implementar políticas y estrategias innovadoras para proteger la cadena de suministro de alimentos y promover una recuperación económica sostenible, como el aumento de la productividad alimentaria mediante tecnologías agrícolas modernas para asegurar la seguridad alimentaria (Mahmood et al., 2024). Esto requiere un enfoque político integral reducir la vulnerabilidad y avanzar tecnológicamente, pues, con el crecimiento de la población y la urbanización, el aumento de pandemias y el cambio climático, es necesario desarrollar sistemas alimentarios más sostenibles y resilientes, junto con estrategias de mitigación y planes de contingencia para responder rápidamente a futuros eventos (Boyacı-Gündüz et al., 2021).

Otro aspecto a considerar es la agitación geopolítica de Ucrania, que afectó todas las dimensiones de la seguridad alimentaria, siendo el impacto más dramático en el acceso a los alimentos, la disminución de la producción y productividad alimentaria, los daños a los activos de producción, la subida de precios de los insumos, los cambios en el uso del suelo, la degradación de la tierra y la escasez de mano de obra en áreas rurales redujeron la oferta y disponibilidad de alimentos. Esto resultó en un aumento de los precios de los alimentos e inflación, afectando la estabilidad de los precios de los alimentos y creando incertidumbre sobre el suministro futuro, con un efecto notable en la dimensión socioeconómica, exacerbando la malnutrición, la pobreza, la vulnerabilidad, la migración y el desplazamiento (El Bilali & Ben Hassen, 2024).



Fuente: (Rojas-Reyes et al., 2024).

Para la presente investigación se consideran las interrupciones relacionadas con las materias primas, pues según los referentes teóricos señalados pueden estar asociados de forma estrecha con el precio percibido por los consumidores. Particularmente la Tabla 3 incluye una clasificación de las principales interrupciones en cadena de suministro de alimentos por categoría, en la cual se destaca la interrupción objeto de estudio.

**Tabla 3**

*Tipos de interrupciones en cadenas de suministro agroalimentarias.*

<b>Tipo de interrupción</b>	<b>Descripción</b>
Gestión y operación	Pérdida de cosechas
	Baja calidad del producto
	Decisiones de gestión
	Fallas en la producción y fabricación
	Reducción del rendimiento de la cosecha
Biológica y ambiental	Contaminación
	Covid-19
	Plagas de los cultivos
	Interacciones ecológicas
	Patógenos vegetales o animales
Climática	Cambio climático
	Sequía
	Clima extremo
	Inundaciones
	Huracán
Demanda	Desastres naturales
	Preferencias de los consumidores
Logística e infraestructura	Fluctuaciones del mercado
	Sistema de distribución
	Infraestructura
	Instalaciones interrumpidas
Regulaciones públicas	Sistema tecnológico y de información
	Regulaciones medioambientales
Social y política	Medidas gubernamentales
	Terrorismo biológico
	Recesiones económicas
	Huelgas laborales
	Disparidad social
Suministro	Guerra y conflicto armado
	Suministro de energía
	Suministro de combustible
	Escasez de petróleo
	<b>Escasez de suministros</b>
	Suministro de filtros
	Suministro de materias primas
Escasez de agua	


Fuente: (Rojas-Reyes et al., 2024).

#### 4.6. Oportunidades de mejora para la competitividad de precios

El Foro Económico Mundial propone el Índice de Competitividad Global para medir el “conjunto de instituciones, políticas, y factores que determinan el nivel de productividad de una economía, lo que a su vez establece el nivel de prosperidad que el país puede lograr” (World Economic Forum, 2020). Los factores que se toman en consideración para su cálculo son los incluidos en la Tabla 4:

**Tabla 4**

Factores del Índice de Competitividad Global.

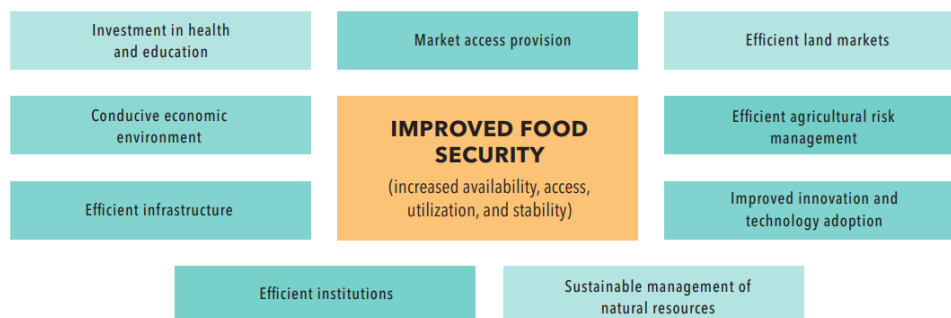
 Requerimientos básicos	 Promotores de eficiencia	 Factores de innovación y sofisticación
Instituciones (21) Infraestructura (9) Ambiente macroeconómico (5) Salud y educación primaria (10)	Educación superior y capacitación (8) Mercado de bienes (16) Mercado laboral (10) Mercado financiero (8) Disponibilidad tecnológica (7) Tamaño de mercado (4)	Sofisticación empresarial (9) Innovación (7)

Fuente: World Economic Forum (2020).

Particularmente Jambor & Babu (2017), se basan en este índice para proponer nueve estrategias para mejorar la competitividad agrícola, estas estrategias se detallan en la siguiente figura:

**Figura 18**

Factores que afectan la seguridad alimentaria a través de la competitividad agrícola



Fuente:(Jambor & Babu, 2017)

En línea con los elementos mencionados, se evidencia una creciente preocupación por la calidad y seguridad de los alimentos, junto con la aparición de nuevas tecnologías y una mayor demanda de transparencia en la cadena de suministro, ha transformado la valoración de la trazabilidad de los alimentos por parte de los consumidores (Tran et al., 2024).

En este sentido, según Sridhar et al (2023), las tecnologías digitales ofrecen oportunidades de reducir los costos en un 23% y disminuir los residuos en casi un 5% al mejorar la producción de alimentos, la calidad, la gestión de la cadena de suministro y el comercio. Con avances tecnológicos como la inteligencia artificial, la agricultura de precisión y el análisis de grandes datos es posible mejorar el rendimiento con mínima intervención humana, promoviendo la sostenibilidad ambiental, social y económica (Sridhar et al., 2023).

Un ejemplo de aplicación de estas tecnologías son los gemelos digitales que pueden aumentar la eficiencia y la sostenibilidad de la cadena de suministro agroalimentaria al proporcionar mayor visibilidad, eliminar cuellos de botella, facilitar la planificación de contingencias y optimizar procesos y recursos ya existentes generando valor añadido para las empresas mediante la reducción de costos y el incremento de la satisfacción del cliente (Melesse et al., 2023).

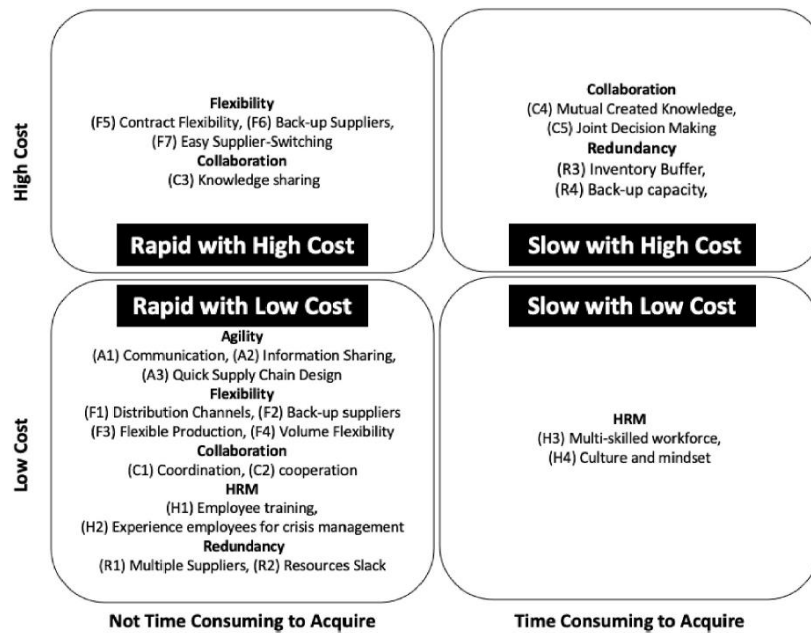
Así mismo, la implementación de tecnologías como el Blockchain traen beneficios en la calidad de los alimentos, seguridad de los datos, rendimiento, sostenibilidad, eficiencia, confianza y colaboración, lo cual contribuye a mitigar problemas de fraude, seguridad, protección y calidad, (Mohammed et al., 2023). Estos problemas son causados por condiciones como la información asimétrica, los procesos de certificación imperfectos, la complejidad de la cadena de suministro, sistemas de control y aplicación deficientes (Giannakas & Yiannaka, 2024), sin embargo la escalabilidad, la interoperabilidad, el alto costo, la falta de experiencia y las regulaciones las barreras más probables para la adopción de estas tecnologías, que en ocasiones se restringen a aplicación en grandes empresas.

#### **4.7. Oportunidades para Colombia**

Considerando que en Colombia se cuenta con una gran cantidad de PyMes agroalimentarias, Ali et al. (2021) proponen cuatro grupos de estrategias que permiten a las pequeñas y medianas empresas reaccionar a los efectos de las interrupciones generadas por las situaciones de crisis mencionada y que permitirían hacer frente a los efectos que acarrearán, estos enfoques se presentan en la Figura 19.

**Figura 19**

*Matriz de estrategias reactivas tiempo/costo para PYME.*



Fuente:(Ali et al., 2021)

Adicional a la tipología de Pyme predominante en la industria agroalimentaria colombiana que favorece la implementación de las estrategias mencionadas, la literatura científica también percibe que los costos asociados con la distribución de alimentos desde muchos pequeños productores hasta los consumidores han sido una barrera significativa para el éxito a largo plazo de estos sistemas regionales implicando una oportunidad para fortalecer la logística regional (Mittal et al., 2018).

Estos costos logísticos, junto con los costos de los insumos afectan directamente los precios, los cuales también están influenciados por factores como el clima extremo, plagas,

enfermedades, especulación e inestabilidad política. A pesar de los aumentos en los precios, los agricultores a menudo no reciben una compensación justa. El comercio justo puede ser una solución efectiva, ya que proporciona ingresos adecuados para los agricultores y asegura un suministro sostenible de productos de calidad (Beg et al., 2017).

Por todo lo expuesto anteriormente y comprendiendo la complejidad de la cadena de suministro agroalimentaria, el enfoque de la presente investigación será la exploración matemática de la relación de los precios de los insumos en el precio final percibido por los consumidores en Colombia.

## 5. Metodología

En la literatura científica sobre el modelamiento de redes logísticas agroalimentarias, se distinguen dos enfoques principales: los modelos matemáticos mecanicistas, que buscan representar las realidades físicas subyacentes, y los modelos estadísticos empíricos, que se basan en datos disponibles y conocimientos de expertos para hacer predicciones (Carvalho et al., 2021). Teniendo en cuenta que todos los eslabones de la cadena y factores externos influyen y son determinantes del desempeño o competitividad en precios de productos para este estudio se opta por la implementación de un modelo empírico para la caracterización de la relación entre los precios de los insumos y el precio que percibe el consumidor específicamente para alimentos. Se proponen los siguientes enfoques, que se desarrollarán más adelante:

- **Análisis de Series Temporales:** Utilización de modelos de series temporales para identificar patrones en los precios tanto de los insumos como de las frutas y verduras respecto al tiempo.
- **Análisis de regresión:** Identificación de la relación entre las series de precios de los alimentos en función de cinco tipos de insumos agrícolas utilizando modelos de regresión múltiple.

### 5.1. Enfoque y alcance de la investigación

El estudio sigue un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, utilizando datos longitudinales. Se emplean modelos econométricos de series temporales y de regresión para analizar la relación entre los precios de insumos agrícolas y los precios de alimentos en Colombia entre 2018 y 2023. El alcance del estudio es correlacional, ya que se busca identificar patrones entre las variables sin manipulación experimental.

### 5.2. Población y muestra

La población está compuesta por los precios de insumos agrícolas obtenidos del UPRA (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria) y los precios de productos del sector agropecuario (SIPSA). Se trabaja con una muestra de cinco tipos de insumos agrícolas y una variedad de frutas y verduras registradas mensualmente entre 2018 y 2023.

### 5.3. Instrumentos y técnicas de análisis de la información

Se emplean modelos econométricos como ARIMA para series temporales, y análisis de regresión múltiple para capturar las relaciones entre los precios. El procesamiento de datos se realiza mediante el software estadístico SPSS, que ofrece herramientas para el modelado de series de tiempo y facilita la selección de parámetros a través del modelador experto.

Las series temporales se emplean para identificar estacionalidad y tendencias, mientras que las regresiones múltiples examinan la relación entre las variables dependientes e independientes. Los modelos se validan mediante métricas como  $R^2$ , RMSE, MAE y MAPE, lo que permite evaluar la precisión en la predicción y la calidad del ajuste de los modelos.

### 5.4. Hipótesis

Se plantean las siguientes hipótesis para guiar la investigación:

- **Hipótesis principal:** Los precios de los insumos agrícolas, como fertilizantes y plaguicidas, tienen una relación significativa y directa con los precios de los alimentos (frutas y verduras) en el mercado colombiano entre 2018 y 2023.
- **Hipótesis secundaria:** El impacto de los precios de insumos agrícolas en los precios de los alimentos varía entre productos agrícolas específicos, con ciertos productos mostrando una relación más fuerte que otros.

Estas hipótesis buscan explorar la relación correlacional entre los precios de insumos agrícolas y los precios de alimentos, utilizando técnicas como análisis de series temporales y regresión múltiple. El estudio tiene el objetivo de verificar estas relaciones y proporcionar evidencia empírica que pueda ayudar a predecir fluctuaciones futuras en los precios de alimentos.

## 5.5. Variables

A continuación, se describen las variables empleadas con su definición conceptual y operacional.

**Tabla 5** Descripción de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
<b>Precio de los Insumos Agrícolas</b>	El precio monetario que se paga por los insumos utilizados en la producción agrícola, como fertilizantes, pesticidas, maquinaria, y otros materiales esenciales para el cultivo.	Representa el valor mensual promedio (en pesos colombianos) de los precios de cinco tipos de insumos agrícolas diferentes. Se mide de manera continua y se registra cada mes desde enero de 2018 hasta diciembre de 2023.
<b>Precio de las Frutas y Verduras</b>	El valor monetario promedio por kilogramo de un conjunto de frutas y verduras en el mercado colombiano.	Representa el precio mensual promedio (en pesos colombianos) de varios productos agrícolas (frutas y verduras) vendidos en el mercado. Se toma como variable dependiente en el análisis. Se mide mensualmente desde enero de 2018 hasta diciembre de 2023, siendo una variable continua.
<b>R cuadrado (R<sup>2</sup>)</b>	Medida estadística que indica el grado de varianza de la variable dependiente que es explicada por las variables independientes en el modelo.	Se interpreta como la proporción de la varianza en los precios de frutas y verduras que es explicada por los precios de los insumos agrícolas. Un valor de R <sup>2</sup> cercano a 1 indica un modelo con buen ajuste.
<b>R cuadrado estacionaria</b>	Medida similar a R <sup>2</sup> , pero ajustada para series de tiempo, que explica la proporción de la varianza en la serie de tiempo que se puede atribuir a las variables predictoras.	Se mide en el análisis de series temporales para indicar cuánto del comportamiento de la serie es explicado por las variables independientes, ajustado a la dinámica de la serie temporal (estacionalidad, tendencia).
<b>Error Cuadrático Medio (RMSE)</b>	Indicador del promedio de la magnitud de los errores de predicción en un modelo de regresión o de series temporales, en términos de las unidades de la variable dependiente.	Representa el valor promedio de los errores entre los valores predichos y los valores observados de los precios de frutas y verduras. Se calcula como la raíz cuadrada de la media de los errores al cuadrado. Un RMSE bajo indica un buen ajuste del modelo.
<b>Error Absoluto Medio (MAE)</b>	Promedio de la magnitud de los errores absolutos entre las predicciones y los valores observados en un modelo, medido en las mismas unidades que la variable dependiente.	Se utiliza para evaluar la precisión del modelo en la predicción de los precios. Se calcula como la media de las diferencias absolutas entre los valores observados y predichos. Un MAE bajo indica un modelo más preciso.
<b>Error Absoluto Porcentual Medio (MAPE)</b>	Medida del error porcentual medio entre las predicciones y los valores reales en un modelo de regresión.	Se utiliza para medir la precisión del modelo en términos porcentuales, calculando el error promedio entre los valores predichos y los observados, como un porcentaje del valor real. Un MAPE bajo indica que el modelo es más preciso para predecir los precios.
<b>MaxAE (Error Absoluto Máximo)</b>	Máxima diferencia absoluta entre un valor predicho y un valor observado en el conjunto de datos.	Representa el mayor error de predicción del modelo. Un valor elevado de MaxAE indica que, en al menos un punto, el modelo predijo muy mal el valor real, y se usa para identificar posibles outliers o problemas de ajuste en eventos extremos.
<b>BIC Normalizado</b>	Criterio de información bayesiano, una métrica que compara diferentes modelos tomando en cuenta el ajuste del modelo y la cantidad de parámetros estimados.	Mide la eficiencia de un modelo al balancear la precisión del ajuste con la complejidad del modelo. Un BIC más bajo sugiere que el modelo es mejor, mientras que un BIC más alto indica un posible sobreajuste o un modelo innecesariamente complejo.

## **6. Procesamiento de datos y análisis de resultados**

Se busca caracterizar las series de datos de forma descriptiva, inicialmente de los precios de los insumos agrícolas y posteriormente de los precios de venta de frutas y verduras en el mercado colombiano, con datos mensuales comprendidos entre los años 2018 y 2023.

En primer lugar, se realizó una inspección exploratoria de los datos para identificar la estacionalidad y posibles patrones de tendencia en las series temporales usando modelos de series de tiempo y seguidamente, se aplicó el modelado ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average), ampliamente reconocido por su capacidad de manejar datos que presentan características como tendencia y estacionalidad.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del ajuste del modelo y su interpretación detallada.

### **6.1. Análisis de series temporales para los insumos**

Se realizó un análisis de ajuste del modelo de una serie temporal utilizando el precio de cada tipo insumo con datos mensuales desde 2018 hasta 2023, se encontró un comportamiento mayormente creciente para los 5 tipos de insumos agrícolas. Para evaluar el desempeño de los modelos, se calcularon métricas de ajuste como el R cuadrado, el Error Cuadrático Medio (RMSE), el Error Absoluto Medio (MAE), y el Error Absoluto Porcentual Medio (MAPE). Estas métricas permiten cuantificar la precisión del modelo en la predicción de los precios y determinar su idoneidad para capturar los patrones presentes en los datos históricos. De este análisis se obtuvieron los siguientes gráficos y estadísticos:

**Tabla 6**  
Series de tiempo para los 5 tipos de insumos agrícolas

Serie de tiempo precio insumo	Gráfica de serie de tiempo
<p><b>Coadyuvantes, molusquicidas, reguladores fisiológicos y otros</b>                      Modelo ajustado: Aditivo Winters                      R cuadrado estacionario: 0,708                      R cuadrado: 0,977                      RMSE: 786,408                      MAPE: 1,696                      MaxAPE: 8,192                      MAE: 550,937                      MaxAE: 2580,148                      BIC normalizado: 13,513</p>	
<p><b>Fertilizantes, enmiendas y acondicionadores de suelo</b>                      Modelo ajustado: ARIMA(0,2,1)(0,0,0)                      R cuadrado estacionaria: 0,223                      R cuadrado: 0,995                      RMSE: 1637,203                      MAPE: 1,345                      MaxAPE: 4,772                      MAE: 1086,300                      MaxAE: 5415,347                      BIC normalizado: 14,862</p>	
<p><b>Fungicidas</b>                      Modelo ajustado: Aditivo de Winters                      R cuadrado estacionaria: 0,614                      R cuadrado: 0,987                      RMSE: 769,250                      MAPE: 1,189                      MaxAPE: 4,818                      MAE: 584,406                      MaxAE: 2659,016                      BIC normalizado: 13,469</p>	
<p><b>Herbicidas</b>                      Modelo ajustado: ARIMA(0,2,1)(0,0,1)                      R cuadrado estacionaria: 0,402                      R cuadrado: 0,993                      RMSE: 2058,228                      MAPE: 1,754                      MaxAPE: 6,925                      MAE: 1520,223                      MaxAE: 5720,231                      BIC normalizado: 15,381</p>	
<p><b>Insecticidas</b>                      Modelo ajustado: Aditivo de Winters                      R cuadrado estacionaria: 0,574                      R cuadrado: 0,981                      RMSE: 1544,942                      MAPE: 1,881                      MaxAPE: 9,740                      MAE: 1099,278                      MaxAE: 5805,791                      BIC normalizado: 14,864</p>	

- **Coadyuvantes, molusquicidas y reguladores fisiológicos:** El modelo Aditivo de Winters tiene un buen ajuste, con un  $R^2$  de 97,7% y un error porcentual bajo (MAPE de 1,7%), lo que indica predicciones precisas.
- **Fertilizantes:** Aunque el modelo ARIMA presenta un ajuste general sólido ( $R^2$  de 99,5%), tiene un error más alto (RMSE de 1637) y un BIC más elevado, lo que sugiere mayor complejidad y menos precisión en algunos puntos.
- **Fungicidas:** El modelo Aditivo de Winters ajusta bien los datos, con un  $R^2$  de 98,7% y un MAPE de 1,2%, mostrando predicciones precisas y un BIC eficiente.
- **Herbicidas:** El modelo ARIMA tiene un buen ajuste general ( $R^2$  de 99,3%), pero presenta los mayores errores absolutos (RMSE de 2058 y MaxAE de 5720), lo que indica menor precisión en puntos específicos.
- **Insecticidas:** El modelo Aditivo de Winters ofrece buen ajuste ( $R^2$  de 98,1%), pero muestra un error porcentual más alto (MAPE de 1,88%) y algunos errores máximos significativos, aunque sigue siendo efectivo para predicciones generales.

## 6.2. Análisis de regresión entre precios de insumos y precios de frutas y verduras

En este análisis, los precios de los insumos se utilizaron como variable independiente, mientras que los precios de las frutas y verduras se establecieron como la variable dependiente. Se realizó un modelo de regresión para para cada uno de los productos para un total de 128 regresiones, donde 65 corresponden a verduras y 63 a frutas.

**Tabla 7**

*Resultados regresión múltiple del precio promedio de verdura en función de precios promedio de insumos agrícolas*

VERDURA	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig
Frijol verde en vaina	0,957	0,915	0,909	304,744	0,915	142,385	5	66	<,001
Tomate riñón valluno	0,948	0,899	0,891	265,206	0,899	117,634	5	66	0,000
Tomate riñón	0,939	0,882	0,873	219,424	0,882	98,764	5	66	0,000
Acelga	0,928	0,861	0,851	133,668	0,861	81,944	5	66	<,001
Cebolla puerro	0,928	0,861	0,850	281,673	0,861	81,459	5	66	<,001
Frijol verde cargamanto	0,925	0,856	0,845	349,429	0,856	78,375	5	66	<,001
Frijol verde bolo	0,911	0,831	0,818	438,278	0,831	64,816	5	66	<,001
Chócolo mazorca	0,911	0,831	0,818	118,267	0,831	64,714	5	66	<,001
Lechuga crespa verde	0,905	0,819	0,805	218,898	0,819	59,706	5	66	<,001
Ahuyama	0,885	0,783	0,766	129,937	0,783	47,490	5	66	<,001
Cilantro	0,872	0,760	0,742	489,920	0,760	41,832	5	66	<,001
Coliflor	0,865	0,748	0,729	319,348	0,748	39,264	5	66	<,001
Espinaca	0,855	0,731	0,711	495,601	0,731	35,949	5	66	<,001
Berenjena	0,851	0,724	0,703	257,681	0,724	34,675	5	66	<,001
Coles	0,848	0,718	0,697	332,697	0,718	33,657	5	66	<,001
Tomate larga vida	0,833	0,693	0,670	378,128	0,693	29,809	5	66	0,000
Repollo morado	0,818	0,670	0,645	241,162	0,670	26,784	5	66	0,000
Brócoli	0,808	0,652	0,626	343,019	0,652	24,751	5	66	<,001
Habichuela	0,794	0,631	0,603	476,309	0,631	22,552	5	66	<,001
Repollo verde	0,794	0,630	0,602	164,416	0,630	22,453	5	66	0,000
Cebolla junca	0,786	0,618	0,590	344,004	0,618	21,394	5	66	<,001
Perejil	0,786	0,618	0,589	880,037	0,618	21,353	5	66	<,001
Arveja verde en vaina	0,784	0,615	0,586	846,829	0,615	21,066	5	66	<,001
Calabacín	0,780	0,608	0,579	220,469	0,608	20,511	5	66	<,001
Cebolla junca Aquitania	0,777	0,603	0,573	497,614	0,603	20,071	5	66	<,001
Cebolla junca pastusa	0,771	0,594	0,563	382,201	0,594	19,314	5	66	<,001
Pepino de rellenar	0,769	0,591	0,560	375,787	0,591	19,047	5	66	<,001
Ajo	0,761	0,579	0,547	1024,887	0,579	18,152	5	66	<,001
Pimentón verde	0,746	0,557	0,523	616,743	0,557	16,595	5	66	<,001
Rábano rojo	0,744	0,554	0,520	614,328	0,554	16,401	5	66	<,001
Cebollín chino	0,729	0,531	0,496	1099,156	0,531	14,954	5	66	<,001
Calabaza	0,728	0,530	0,494	200,390	0,530	14,877	5	66	<,001
Ajo importado	0,724	0,524	0,488	1462,423	0,524	14,553	5	66	<,001
Tomate chonto	0,722	0,521	0,484	500,808	0,521	14,334	5	66	0,000
Arveja verde en vaina pastusa	0,714	0,510	0,473	913,336	0,510	13,744	5	66	<,001
Tomate Riogrande	0,711	0,505	0,468	556,210	0,505	13,468	5	66	0,000
Cebolla cabezona blanca pastusa	0,709	0,503	0,465	557,570	0,503	13,354	5	66	<,001
Tomate chonto regional	0,701	0,491	0,453	533,572	0,491	12,742	5	66	0,000
Remolacha	0,700	0,490	0,451	592,243	0,490	12,680	5	66	<,001
Cebolla cabezona blanca	0,698	0,487	0,448	607,350	0,487	12,508	5	66	<,001
Ahuyamín (Sakata)	0,696	0,485	0,446	200,346	0,485	12,416	5	66	<,001
Lechuga Batavia	0,694	0,481	0,442	280,156	0,481	12,235	5	66	<,001
Tomate Riogrande bumangués	0,693	0,480	0,440	523,563	0,480	12,169	5	66	0,000
Cebolla junca Berlín	0,691	0,478	0,438	556,643	0,478	12,084	5	66	<,001
Cebolla cabezona blanca bogotana	0,687	0,472	0,432	649,511	0,472	11,804	5	66	<,001
Apio	0,683	0,466	0,426	161,446	0,466	11,525	5	66	<,001
Pepino cohombro	0,676	0,458	0,417	287,562	0,458	11,137	5	66	<,001

VERDURA	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig
Cidra	0,672	0,451	0,410	283,433	0,451	10,853	5	66	<,001
Remolacha regional	0,670	0,448	0,407	515,768	0,448	10,732	5	66	<,001
Repollo blanco	0,670	0,448	0,407	515,768	0,448	10,732	5	66	<,001
Zanahoria larga vida	0,665	0,442	0,400	298,350	0,442	10,472	5	66	0,000
Zanahoria	0,664	0,441	0,399	276,717	0,441	10,414	5	66	0,000
Pimentón	0,663	0,440	0,397	674,992	0,440	10,351	5	66	<,001
Remolacha bogotana	0,662	0,438	0,395	631,610	0,438	10,290	5	66	<,001
Habichuela larga	0,634	0,402	0,356	824,508	0,402	8,864	5	66	<,001
Zanahoria bogotana	0,622	0,386	0,340	341,267	0,386	8,312	5	66	0,000
Cebolla junca Tenerife	0,619	0,384	0,337	601,880	0,384	8,217	5	66	<,001
Cebolla cabezona roja	0,601	0,362	0,313	711,031	0,362	7,479	5	66	<,001
Cebolla cabezona roja importada	0,571	0,326	0,275	755,287	0,326	6,385	5	66	<,001
Cebolla cabezona roja peruana	0,566	0,321	0,269	688,910	0,321	6,230	5	66	<,001
Repollo blanco bogotano	0,495	0,245	0,188	474,596	0,245	4,280	5	66	0,002
Ají topito dulce	0,488	0,238	0,181	980,452	0,238	4,130	5	66	0,003
Haba verde	0,485	0,235	0,177	351,819	0,235	4,063	5	66	0,003

De los resultados de las regresiones para cada verdura en función de los cinco tipos de insumos, se extrae que los valores de  $R^2$  ajustado oscilan entre 0,915 y 0,177. Esto indica que la capacidad de los insumos para explicar la variabilidad en los precios de los productos es mayor en algunos casos (como los primeros productos con  $R^2$  superiores a 0,9) y menor en otros (en la parte inferior de la tabla, donde el  $R^2$  ajustado está por debajo de 0,4). Un mayor  $R^2$  indica un mejor ajuste del modelo, por lo que ciertos productos parecen tener una relación más fuerte con los insumos utilizados que otros.

El error estándar de la estimación varía considerablemente. Valores más altos sugieren una mayor dispersión de los datos en torno a la línea de regresión, lo que indica menor precisión en la predicción de los precios de algunos productos. Por ejemplo, algunos productos tienen errores estándar elevados, como el del ajo importado que está cerca de 1462, mientras que otros muestran un error más bajo alrededor de 118. Esto puede explicarse en que los productos importados no se fabrican en el país.

Respecto al cambio en R<sup>2</sup>, es significativo en todos los casos, lo que sugiere que la inclusión de los insumos en el modelo mejora de manera significativa la capacidad predictiva del modelo. Esto también se evidencia por los valores de significancia ( $p < 0,001$  en la mayoría de los casos).

**Tabla 8**

*Resultados de regresión múltiple del precio promedio de fruta en función de precios promedio de insumos agrícolas*

FRUTA	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig
Fresa	0,972	0,945	0,941	303,111	0,945	228,872	5	66	<,001
Guayaba manzana	0,971	0,943	0,938	125,456	0,943	217,234	5	66	<,001
Manzana roja importada	0,959	0,920	0,914	443,747	0,920	151,569	5	66	<,001
Lulo	0,954	0,910	0,903	276,515	0,910	133,128	5	66	<,001
Manzana verde importada	0,948	0,899	0,891	587,419	0,899	117,477	5	66	<,001
Guanábana	0,942	0,887	0,878	305,015	0,887	103,663	5	66	<,001
Banano bocadillo	0,938	0,880	0,871	110,770	0,880	96,458	5	66	<,001
Banano criollo	0,937	0,879	0,869	78,956	0,879	95,530	5	66	<,001
Banano Urabá	0,935	0,875	0,866	132,075	0,875	92,437	5	66	<,001
Patilla	0,932	0,869	0,859	154,666	0,869	87,468	5	66	<,001
Coco	0,932	0,868	0,858	260,040	0,868	86,987	5	66	<,001
Uva importada	0,926	0,858	0,847	1233,446	0,858	79,537	5	66	<,001
Durazno nacional	0,921	0,849	0,838	385,359	0,849	74,306	5	66	<,001
Uva roja	0,914	0,835	0,822	729,441	0,835	66,771	5	66	<,001
Guayaba pera valluna	0,912	0,832	0,819	267,836	0,832	65,220	5	66	<,001
Manzana royal gala importada	0,908	0,825	0,812	596,489	0,825	62,233	5	66	<,001
Uva verde	0,901	0,812	0,798	989,991	0,812	57,168	5	66	<,001
Uva Isabela	0,901	0,811	0,797	257,438	0,811	56,784	5	66	<,001
Guayaba pera	0,893	0,797	0,781	195,733	0,797	51,701	5	66	<,001
Naranja Sweet	0,890	0,791	0,776	160,821	0,791	50,083	5	66	<,001
Pera importada	0,888	0,788	0,772	618,274	0,788	49,183	5	66	<,001
Naranja Valencia	0,882	0,779	0,762	180,306	0,779	46,394	5	66	<,001
Uva red globe nacional	0,880	0,774	0,757	905,941	0,774	45,213	5	66	<,001
Mora de Castilla	0,866	0,749	0,730	410,586	0,749	39,466	5	66	<,001
Melón Cantalup	0,866	0,749	0,730	243,127	0,749	39,443	5	66	<,001
Piña manzana	0,860	0,740	0,721	254,800	0,740	37,649	5	66	<,001
Uchuva con cáscara	0,858	0,736	0,716	385,531	0,736	36,727	5	66	<,001
Piña gold	0,855	0,730	0,710	331,852	0,730	35,743	5	66	<,001
Granadilla	0,850	0,723	0,702	786,066	0,723	34,443	5	66	<,001
Aguacate Hass	0,846	0,715	0,693	377,731	0,715	33,126	5	66	<,001
Piña perolera	0,843	0,711	0,689	277,685	0,711	32,500	5	66	<,001
Papaya tainung	0,837	0,701	0,679	199,367	0,701	30,998	5	66	<,001
Aguacate común	0,835	0,697	0,674	525,960	0,697	30,309	5	66	<,001
Naranja común	0,821	0,673	0,649	192,691	0,673	27,228	5	66	<,001
Curuba	0,817	0,667	0,642	223,920	0,667	26,474	5	66	<,001
Guayaba común	0,816	0,666	0,641	273,959	0,666	26,305	5	66	<,001
Papaya Maradol	0,807	0,651	0,625	251,529	0,651	24,628	5	66	<,001
Limón mandarino	0,806	0,649	0,623	319,086	0,649	24,442	5	66	<,001
Tomate de árbol	0,804	0,646	0,619	373,186	0,646	24,058	5	66	<,001
Aguacate papelillo	0,803	0,645	0,618	880,768	0,645	23,992	5	66	<,001
Kiwi	0,800	0,640	0,612	1725,176	0,640	23,436	5	66	<,001
Mandarina común	0,785	0,616	0,587	544,044	0,616	21,199	5	66	<,001
Maracuyá	0,784	0,614	0,585	463,026	0,614	21,020	5	66	<,001

FRUTA	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig
Maracuyá santandereano	0,763	0,582	0,551	521,489	0,582	18,397	5	66	<,001
Mandarina Arrayana	0,747	0,558	0,525	455,462	0,558	16,694	5	66	<,001
Maracuyá huilense	0,742	0,551	0,517	451,074	0,551	16,206	5	66	<,001
Guayaba agria	0,739	0,546	0,512	395,699	0,546	15,873	5	66	<,001
Limón común valluno	0,732	0,536	0,501	763,349	0,536	15,243	5	66	<,001
Limón común	0,723	0,522	0,486	631,272	0,522	14,438	5	66	<,001
Manzana nacional	0,718	0,516	0,480	363,413	0,516	14,085	5	66	<,001
Borojó	0,711	0,506	0,468	701,448	0,506	13,516	5	66	<,001
Mango de azúcar	0,710	0,503	0,466	1000,656	0,503	13,380	5	66	<,001
Maracuyá antioqueño	0,698	0,487	0,448	517,963	0,487	12,515	5	66	<,001
Mandarina Oneco	0,683	0,466	0,426	516,066	0,466	11,539	5	66	<,001
Tangelo	0,681	0,464	0,423	568,114	0,464	11,423	5	66	<,001
Mango común	0,679	0,461	0,420	535,449	0,461	11,291	5	66	<,001
Pitahaya	0,668	0,447	0,405	2288,999	0,447	10,659	5	66	<,001
Breva	0,641	0,411	0,366	1120,072	0,411	9,213	5	66	<,001
Gulupa	0,615	0,378	0,331	316,972	0,378	8,022	5	66	<,001
Ciruela roja	0,603	0,364	0,316	496,202	0,364	7,546	5	66	<,001
Patilla baby	0,587	0,345	0,295	325,679	0,345	6,955	5	66	<,001
Mango Tommy	0,555	0,308	0,255	1385,129	0,308	5,868	5	66	<,001
Limón Tahití	0,547	0,300	0,247	838,906	0,300	5,647	5	66	<,001
Mango Yulima	0,511	0,261	0,205	861,465	0,261	4,668	5	66	0,001
Higo	0,348	0,121	0,054	1210,890	0,121	1,818	5	66	0,121

Al analizar la tabla de resultados de regresión de frutas, que muestra los resultados de las regresiones para frutas en función de los cinco tipos de insumos, se pueden destacar que los valores de  $R^2$  ajustado varían entre 0,941 y 0,054. Esto indica que, al igual que con las verduras, algunos productos tienen una relación mucho más fuerte con los insumos, mientras que otros muestran una relación débil o casi inexistente. Los primeros productos en la tabla tienen  $R^2$  superiores a 0,9, lo que indica un ajuste excelente del modelo. Sin embargo, hacia el final de la tabla, hay productos con  $R^2$  ajustados muy bajos (cerca de 0,05), lo que sugiere que los insumos no explican bien la variabilidad de esos precios.

El error estándar varía significativamente, con valores que oscilan desde aproximadamente 78,956 hasta más de 2288. Esto indica que hay una gran diferencia en la precisión con la que los insumos predicen los precios de algunas frutas en comparación con otras. Los productos con menor error estándar muestran un modelo de regresión más preciso.

En cuanto al cambio en  $R^2$  sigue siendo significativo en todos los casos, lo que indica que los insumos tienen un impacto considerable en el modelo, incluso en los productos con un  $R^2$  bajo.

Los valores de cambio más altos sugieren que ciertos productos experimentan una mejora significativa en el ajuste del modelo con la adición de insumos. Al igual que en la tabla de verduras, los precios de todas las frutas muestran p-values significativos ( $p < 0,001$ ), lo que indica que la relación entre los precios de las frutas y los insumos es consistente.

Finalmente, al igual que en el caso de las verduras, las frutas presentan una relación significativa con los insumos, pero la fuerza de esta relación varía considerablemente entre productos. Algunos productos tienen un buen ajuste con los insumos, mientras que otros muestran una relación débil, esto sugiere que, si bien los insumos son un factor importante para explicar los precios de algunas frutas, para otras pueden no ser tan influyentes.

### 6.3. Análisis de series temporales para las frutas y verduras con mayor relación

Posterior al análisis de regresión se identifican las cinco frutas y verduras cuyo precio presenta mayor relación respecto a los insumos y se realiza un modelado se series temporales para profundizar en el análisis de dichas variables, los resultados se presentan a continuación:

**Tabla 9**

*Serie de tiempo top 5 frutas y verduras*

Serie de tiempo precio alimento	Gráfica de serie de tiempo
<p><b>Fresa</b>                      Modelo ajustado: Aditivo de Winters                      R cuadrado estacionaria: 0,472                      R cuadrado: 0,977                      RMSE: 192,839                      MAPE: 2,666                      MaxAPE: 21,809                      MAE: 139,526                      MaxAE: 879,215                      BIC normalizado: 10,702</p>	
<p><b>Guayaba manzana</b>                      Modelo ajustado: Aditivo de Winters                      R cuadrado estacionaria: 0,519                      R cuadrado: 0,978                      RMSE: 75,177                      MAPE: 2,309                      MaxAPE: 9,132                      MAE: 58,232                      MaxAE: 196,748                      BIC normalizado: 8,818</p>	

Serie de tiempo precio alimento	Gráfica de serie de tiempo
<p><b>Lulo</b>                      Modelo ajustado: Estacional simple                      R cuadrado estacionaria: 0,463                      R cuadrado: 0,936                      RMSE: 226,209                      MAPE: 5,136                      MaxAPE: 21,206                      MAE: 171,415                      MaxAE: 638,306                      BIC normalizado: 10,962</p>	
<p><b>Guanabana</b>                      Modelo ajustado: Aditivo de Winters                      R cuadrado estacionaria: 0,536                      R cuadrado: 0,968                      RMSE: 159,967                      MAPE: 3,820                      MaxAPE: 21,681                      MAE: 116,697                      MaxAE: 587,733                      BIC normalizado: 10,328</p>	
<p><b>Banano bocadillo</b>                      Modelo ajustado: Aditivo de Winters                      R cuadrado estacionaria: 0,413                      R cuadrado: 0,965                      RMSE: 58,825                      MAPE: 2,457                      MaxAPE: 15,156                      MAE: 37,820                      MaxAE: 237,933                      BIC normalizado: 8,327</p>	
<p><b>Fríjol verde en vaina</b>                      Modelo ajustado: Aditivo de Winters                      R cuadrado estacionaria: 0,540                      R cuadrado: 0,957                      RMSE: 212,108                      MAPE: 4,637                      MaxAPE: 12,681                      MAE: 161,089                      MaxAE: 574,750                      BIC normalizado: 10,892</p>	
<p><b>Tomate riñón valluno</b>                      Modelo ajustado: ARIMA(0,1,0)(0,0,0)                      R cuadrado estacionaria: 0,110E-16                      R cuadrado: 0,913                      RMSE: 237,772                      MAPE: 4,874                      MaxAPE: 18,402                      MAE: 176,781                      MaxAE: 874,563                      BIC normalizado: 11,003</p>	

Serie de tiempo precio alimento	Gráfica de serie de tiempo
<p><b>Tomate riñón</b>                      Modelo ajustado: Aditivo de Winters                      R cuadrado estacionaria: 0,522                      R cuadrado: 0,906                      RMSE: 191,545                      MAPE: 4,841                      MaxAPE: 13,128                      MAE: 145,254                      MaxAE: 497,113                      BIC normalizado: 10,688</p>	
<p><b>Acelga</b>                      Modelo ajustado: Aditivo de Winters                      R cuadrado estacionaria: 0,535                      R cuadrado: 0,913                      RMSE: 103,466                      MAPE: 4,235                      MaxAPE: 15,980                      MAE: 73,056                      MaxAE: 358,130                      BIC normalizado: 9,457</p>	
<p><b>Cebolla puerro</b>                      Modelo ajustado: Aditivo de Winters                      R cuadrado estacionaria: 0,552                      R cuadrado: 0,942                      RMSE: 177,206                      MAPE: 4,839                      MaxAPE: 16,486                      MAE: 140,536                      MaxAE: 498,376                      BIC normalizado: 10,533</p>	

De este análisis de series de tiempo se obtiene que el Modelo Aditivo de Winters aplica para la mayoría de las frutas y verduras, pues el  $R^2$  es elevado en la mayoría de los casos (generalmente entre 0,906 y 0,978), lo que indica que los modelos explican bien la variabilidad en los precios de los alimentos. La Guayaba manzana es la fruta mejor ajustada con un  $R^2$  de 0,978, mientras que el Tomate riñón tiene el valor más bajo, pero aún razonable, con 0,906.

Los valores de  $R^2$  estacionaria (rango: 0,413 a 0,552) muestran que las series presentan estacionalidad moderada, sugiriendo que las variaciones estacionales afectan parcialmente los precios. Así mismo el RMSE (Error Cuadrático Medio) varía considerablemente entre los productos. Los alimentos con menores RMSE, como el Banano bocadillo (58,825), tienen predicciones más precisas. En cambio, el Fríjol verde en vaina y el Lulo tienen mayores RMSE, lo que indica que los modelos son menos precisos para estos alimentos.

El MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio) muestra valores bajos, que varían entre 2,309 (Guayaba manzana) y 5,136 (Lulo), indican un buen ajuste en términos de error porcentual. Esto sugiere que el modelo predice con mayor precisión los precios de la Guayaba manzana y la Fresa, mientras que para el Lulo, el error porcentual es más alto, lo que indica menor precisión. El indicador MaxAPE (Error Porcentual Absoluto Máximo) muestra diferencias más notables, con valores altos para algunos productos como la Fresa (21,809) y la Guanábana (21,681), lo que sugiere que en ciertos momentos los precios tienen grandes desviaciones. Por último, el BIC Normalizado varía de 8,327 a 10,962, los valores más bajos (como en el Banano bocadillo) indican que estos modelos son más eficientes en términos de ajuste y complejidad del modelo.

El Tomate Riñón Valluno es un caso especial porque tiene un  $R^2$  estacionario insignificante ( $1,110E-16$ ), lo que indica que el modelo ARIMA parece no capturar estacionalidad, es decir que su estacionalidad no fue un factor importante en el precio. El  $R^2$  de 0,913 indica que, aunque no captura estacionalidad, este modelo aún tiene un ajuste razonable en términos de variabilidad total. A su vez, el RMSE (237,772) y MAPE (4,874) muestran una precisión moderada, con predicciones razonables, aunque no las más exactas en comparación con otros alimentos modelados con Aditivo de Winters. Por último, el error absoluto máximo (MaxAE 874,563) para este alimento es el más alto entre todos, lo que indica que este modelo tiene algunas predicciones menos precisas en algunos momentos del tiempo.

## **7. Discusión**

### **7.1. Situación actual**

El análisis de la relación entre los costos de insumos agrícolas y los precios de los alimentos en Colombia entre 2018 y 2023 revela una aparente correlación, especialmente con fertilizantes y plaguicidas, que son insumos claves para la producción agrícola. Se presume que el aumento en los precios de estos insumos ha afectado directamente los costos de producción y, en consecuencia, los precios de los alimentos. Además, los resultados muestran que ciertas frutas y verduras son particularmente sensibles a variaciones en los precios de estos insumos. Este escenario está exacerbado por factores externos como el impacto de la pandemia y la inestabilidad geopolítica, que han incrementado los costos de insumos y generado disrupciones en la cadena de suministro.

### **7.2. Oportunidades y propuestas**

Se identifican oportunidades en tres aristas, la primera es una mejor gestión de la volatilidad de precios, donde implementar estrategias como contratos a largo plazo con proveedores de insumos, acceso a mejores tecnologías y el uso de análisis predictivo para anticipar fluctuaciones, permitiría a agricultores y distribuidores a mitigar los efectos de la volatilidad de precios en la cadena de suministro. La segunda oportunidad se relaciona con fomentar prácticas más eficientes en el uso de fertilizantes y plaguicidas, como la agricultura de precisión, que permite utilizar estos insumos de manera más eficaz, reduciendo los costos y el impacto ambiental. La tercera oportunidad es el desarrollo de plataformas digitales o el aprovechamiento de las existentes para proporcionar información actualizada sobre precios de insumos agrícolas, permitiendo a los productores tomar decisiones informadas y reducir la incertidumbre.

Cuatro propuestas que se derivan de las oportunidades identificadas y que se proponen para futuras investigaciones son:

Primero, el desarrollo de sistemas de predicción de precios basado en modelos econométricos para predecir el comportamiento de los precios de insumos agrícolas y su impacto en los precios de los alimentos que ayude a los productores a planificar mejor sus inversiones y estrategias de compra. Segundo, el fomento de alianzas estratégicas con proveedores de insumos que garanticen precios más estables a través de contratos de compra anticipada o asociaciones cooperativas que reduzcan el costo unitario de los insumos mediante la compra colectiva.

Tercero, el uso de tecnología como la agricultura de precisión para mejorar la eficiencia en la producción y el uso de datos para optimizar insumos, costos de producción. Cuarto, el apoyo al desarrollo de políticas públicas para la estabilización de precios, colaborando con instituciones gubernamentales para implementar políticas que permitan regular la volatilidad de los precios de insumos agrícolas y apoyar con subsidios o incentivos fiscales a los productores más afectados por los aumentos de precios.

En conjunto, estas soluciones buscan mejorar la competitividad y la resiliencia del sector agrícola colombiano, permitiendo a los productores enfrentar de manera más efectiva las fluctuaciones en los costos de los insumos, favoreciendo la estabilidad de precios de los alimentos en el mercado y todas las implicaciones que esto tiene.

### **7.3. Limitaciones**

En esta sección se identifican algunas limitaciones del estudio. Una de las principales es la calidad y disponibilidad de los datos, pues los modelos econométricos utilizados para analizar las series temporales, como el modelo ARIMA y el modelo aditivo de Winters, muestran buen ajuste en algunos casos, como los herbicidas y fungicidas, pero con errores significativos en productos específicos. Por ejemplo, en el análisis de herbicidas, el modelo ARIMA presenta un error absoluto máximo (MaxAE) de 5720 y un error cuadrático medio (RMSE) de 2058, nivel de error indica que, aunque los modelos capturan patrones generales de variabilidad, pueden fallar al predecir eventos extremos o fluctuaciones bruscas en los precios de insumos. Esto puede

afectar la precisión de las conclusiones sobre la relación entre los precios de insumos agrícolas y los precios de alimentos.

El impacto de factores externos no controlados es otra limitación significativa, pues el periodo de estudio, 2018-2023, estuvo marcado por eventos globales que afectaron profundamente las cadenas de suministro agrícolas, como la pandemia de COVID-19 y la guerra en Ucrania. Estos eventos introdujeron distorsiones significativas en los costos de insumos y en la oferta de productos agrícolas, lo que dificulta aislar la influencia de los precios de insumos agrícolas como la única variable explicativa. En muchos casos, los incrementos en precios podrían estar más relacionados con disrupciones logísticas globales que con factores propios del mercado colombiano.

Las relaciones no lineales entre los insumos y los productos agrícolas también representan un desafío, pues, aunque el uso de modelos de regresión múltiple proporciona una base para identificar correlaciones entre variables, las relaciones entre los insumos y los precios de alimentos no siempre son lineales. Algunos productos agrícolas, como el frijol verde y el tomate, presentan una alta variabilidad en la precisión de los modelos utilizados, con coeficientes de determinación ajustados ( $R^2$  ajustado) que varían de 0.941 a 0.054. Esto sugiere que pueden tener un impacto más limitado en ciertos productos, mientras que, en otros, su influencia es significativa. Este tipo de variabilidad podría no haber sido completamente capturada por los modelos lineales aplicados, lo que plantea dudas sobre la generalización de los hallazgos.

Otra limitación es la representatividad de los productos seleccionados, pues el estudio se centró en un subconjunto de frutas y verduras, lo que podría no ser representativo de toda la canasta agroalimentaria colombiana. Si bien los modelos aplicados muestran un ajuste adecuado para ciertos productos, como el tomate riñón, con un  $R^2$  de 0.899, la estacionalidad y otros factores externos pueden tener efectos variables en diferentes categorías de alimentos. La limitación de productos restringe la capacidad para extrapolar los resultados a todo el sector

agrícola, lo que sugiere que futuras investigaciones deberían ampliar el rango de productos analizados.

Por último, la investigación enfrenta la limitación del horizonte temporal de los datos, aunque los modelos econométricos proporcionan información valiosa sobre las tendencias entre 2018 y 2023, es posible que las condiciones que dieron forma a estos patrones de precios cambien significativamente en el futuro debido a factores como la inflación, la inestabilidad política y el cambio climático. Esta incertidumbre limita la capacidad de los modelos para predecir con precisión las variaciones futuras en los precios agrícolas, lo que subraya la importancia de continuar monitoreando estas dinámicas con modelos más avanzados y datos más recientes.

En resumen, aunque los resultados obtenidos permiten comprender algunos elementos en la relación entre los costos de insumos agrícolas y los precios de los alimentos, las limitaciones metodológicas y contextuales deben ser consideradas en futuras investigaciones que incorporen enfoques más sofisticados, como modelos no lineales o de machine learning, y expandan el análisis a una mayor diversidad de productos y periodos de tiempo. Además, sería beneficioso incluir variables macroeconómicas adicionales para capturar mejor el impacto de los eventos globales en los precios de insumos y alimentos.

## **8. Conclusiones y Trabajo Futuro**

La investigación permitió obtener resultados significativos en cuanto a la relación entre los precios de los insumos y el comportamiento de los precios de los alimentos. A continuación, se presentan las conclusiones con base en los objetivos específicos planteados

### **8.1. Conclusiones**

Se confirmó una relación significativa entre los precios de insumos agrícolas, como fertilizantes y plaguicidas, y los precios de alimentos como frutas y verduras. Los insumos, especialmente los fertilizantes, mostraron ser una variable que afecta los costos de producción, impactando de manera directa los precios finales de los alimentos. Este hallazgo valida la hipótesis inicial de que los insumos tienen una influencia considerable en la variación de precios.

El análisis de los datos también reveló que los precios de insumos no son los únicos factores que afectan los precios de alimentos, ya que eventos externos como la pandemia de COVID-19 y la guerra en Ucrania introdujeron volatilidad adicional. Estos factores generaron interrupciones en la cadena de suministro agrícola global, aumentando los costos logísticos y de insumos, lo cual exacerbó la inflación alimentaria durante el periodo estudiado.

Los modelos de series temporales y regresión empleados proporcionaron resultados precisos en la mayoría de los casos, pero la estacionalidad y los eventos extremos como los choques de demanda y oferta no siempre fueron capturados con precisión. Alimentos como el frijol verde y el lulo presentaron mayores errores en las predicciones, lo que sugiere que los modelos utilizados podrían beneficiarse de una mayor sofisticación para mejorar la capacidad de anticipar fluctuaciones estacionales o eventos inesperados.

## **8.2. Trabajo futuro**

Se identifican varias líneas de trabajo futuro que podrían aportar un valor significativo para la comprensión y la mitigación de los efectos de los precios de insumos en la cadena agroalimentaria colombiana.

En primer lugar, la exploración de nuevos modelos predictivos no lineales o técnicas de aprendizaje automático (machine learning) que podrían capturar mejor las dinámicas complejas del mercado, mejorar la precisión de las predicciones.

En segundo lugar, estudios a largo plazo que consideren el impacto de la sostenibilidad en la cadena de suministro como la introducción de insumos agrícolas sostenibles y la adopción de prácticas agrícolas más eficientes para entender cómo estas medidas mitigan la volatilidad de los precios y mejoran la competitividad del sector agroalimentario.

En tercer lugar, se recomienda que los estudios futuros consideren los efectos de las políticas públicas relacionadas con la agricultura, como los subsidios a los insumos agrícolas y las regulaciones ambientales.

Finalmente, si bien esta investigación se centró en frutas y verduras, futuros estudios podrían ampliar el análisis a una mayor variedad de productos agrícolas y regiones geográficas dentro de Colombia, esto permitiría obtener una visión más holística de la influencia de los costos de insumos en la variación de precios.

## 9. Referencias

- Agronet. (2022, August 29). *Precios de los insumos agropecuarios comenzaron a estabilizarse durante julio del 2022*. <https://www.Agronet.Gov.Co/Noticias/Paginas/Precios-de-Los-Insumos-Agropecuarios-Comenzaron-a-Estabilizarse-Durante-Julio-Del-2022.aspx>.
- Ali, M. H., Suleiman, N., Khalid, N., Tan, K. H., Tseng, M. L., & Kumar, M. (2021). Supply chain resilience reactive strategies for food SMEs in coping to COVID-19 crisis. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 109, pp. 94–102). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.021>
- Banco de la República de Colombia. (2024, July). *Índice de precios al consumidor (IPC)*. <https://www.Banrep.Gov.Co/Es/Estadisticas/Indice-Precios-Consumidor-Ipc>.
- Beg, M. S., Ahmad, S., Jan, K., & Bashir, K. (2017). Status, supply chain and processing of cocoa - A review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 66, pp. 108–116). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.007>
- Berenguer, C. V., Andrade, C., Pereira, J. A. M., Perestrelo, R., & Câmara, J. S. (2023). Current Challenges in the Sustainable Valorisation of Agri-Food Wastes: A Review. In *Processes* (Vol. 11, Issue 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/pr11010020>
- BIS Research. (2023). *Agriculture Dealers Market A Global and Regional Analysis*. [www.bisresearch.com](http://www.bisresearch.com)
- Bobojonov, I., Duric, I., & Glauben, T. (2020). Heterogeneous impact of price spikes across countries and supply chain actors: An evidence from central asia and the caucasus. A

- review. In *Agricultural Economics (Czech Republic)* (Vol. 66, Issue 2, pp. 92–103). Czech Academy of Agricultural Sciences. <https://doi.org/10.17221/130/2019-AGRICECON>
- Boyacı-Gündüz, C. P., Ibrahim, S. A., Wei, O. C., & Galanakis, C. M. (2021). Transformation of the food sector: Security and resilience during the covid-19 pandemic. In *Foods* (Vol. 10, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods10030497>
- Cardoso, V. A., Lourenzani, A. E. B. S., Caldas, M. M., Bernardo, C. H. C., & Bernardo, R. (2022). The benefits and barriers of geographical indications to producers: A review. In *Renewable Agriculture and Food Systems* (Vol. 37, Issue 6, pp. 707–719). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S174217052200031X>
- Carvalho, O., Charalambides, M. N., Djekić, I., Athanassiou, C., Bakalis, S., Benedito, J., Briffaz, A., Castañé, C., Della Valle, G., de Sousa, I. M. N., Erdogdu, F., Feyissa, A. H., Kavallieratos, N. G., Koulouris, A., Pojić, M., Raymundo, A., Riudavets, J., Sarghini, F., Trematerra, P., & Tonda, A. (2021). Modelling Processes and Products in the Cereal Chain. *Foods*, 10(1), 82. <https://doi.org/10.3390/foods10010082>
- DANE. (2024a). *Producto Interno Bruto PIB II trimestre de 2024 preliminar*. <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/PIB/bol-PIB-IItrim2024-v2.pdf>
- DANE. (2024b). *Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa>
- El Bilali, H., & Ben Hassen, T. (2024). Disrupted harvests: how Ukraine–Russia war influences global food systems—a systematic review. In *Policy Studies* (Vol. 45, Issues 3–4, pp. 310–335). Routledge. <https://doi.org/10.1080/01442872.2024.2329587>
- Estrada, C. (2022, November 15). *Alza de precios de insumos para el agro llegó a 29,4%, con fertilizantes de líderes*. <https://www.larepublica.co/Economia/Alza-de-Precios-de-Insumos-Para-El-Agro-Llego-a-29-4-Con-Fertilizantes-de-Lideres-3487688>.

- Focker, M., & van der Fels-Klerx, H. J. (2020). Economics applied to food safety. In *Current Opinion in Food Science* (Vol. 36, pp. 18–23). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.018>
- Franco Estupiñán, J. L., & Ochoa Arciniegas, J. A. (2022). *Análisis del comportamiento en los precios de los productos agrícolas comercializados en la central de abastos de Bucaramanga* [Universidad Autónoma de Bucaramanga].  
[https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/20539/2022\\_Tesis\\_Jose\\_Luis\\_Franco.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/20539/2022_Tesis_Jose_Luis_Franco.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gage, E., Wang, X., Xu, B., Foster, A., Evans, J., Terry, L. A., & Falagán, N. (2024). Reducing food loss and waste contributes to energy, economic and environmental sustainability. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 451). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142068>
- Giannakas, K., & Yiannaka, A. (2024). Food Fraud: Causes, Consequences, and Deterrence Strategies. *Annual Review of Resource Economics*. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-101422>
- Hamid, S., & Mir, M. Y. (2021). Global Agri-Food Sector: Challenges and Opportunities in COVID-19 Pandemic. In *Frontiers in Sociology* (Vol. 6). Frontiers Media S.A.  
<https://doi.org/10.3389/fsoc.2021.647337>
- Jambor, A., & Babu, S. (2017). *Competitiveness of Global Agriculture Policy Lessons for Food Security*. <https://ideas.repec.org/p/fpr/synops/9780896292598.html>
- Ley 2183 Del 6 de Enero de 2022 (2022).  
<https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Leyes/LEY%202183%20DEL%206%20DE%20ENERO%20DE%202022.pdf>
- Mahmood, H., Furqan, M., Meraj, G., & Shahid Hassan, M. (2024). The effects of COVID-19 on agriculture supply chain, food security, and environment: a review. *PeerJ*, 12(4), e17281.  
<https://doi.org/10.7717/peerj.17281>

- Majano, E., & Méndez, A. (1989). Formación de precios en la agricultura de alimentación. *Realidad: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 7, 89–135.
- Maqbool, M. E., Farhan, A., & Qamar, M. A. (2024). Global impact of COVID-19 on food safety and environmental sustainability: Pathways to face the pandemic crisis. In *Heliyon* (Vol. 10, Issue 15). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35154>
- Melesse, T. Y., Franciosi, C., Di Pasquale, V., & Riemma, S. (2023). Analyzing the Implementation of Digital Twins in the Agri-Food Supply Chain. In *Logistics* (Vol. 7, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/logistics7020033>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018, July 6). *El agro colombiano se consolidó como el motor de la economía nacional*. <https://www.minagricultura.gov.co/Noticias/Paginas/El-Agro-Colombiano-Se-Consolid%C3%B3-Como-El-Motor-de-La-Econom%C3%ADa-Nacional.aspx>.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024, May 10). *Precio de los alimentos ha sido clave para mantener caída en la inflación de los últimos 12 meses, dice Minagricultura*. <https://www.minagricultura.gov.co/Noticias/Paginas/Precio-de-Los-Alimentos-Ha-Sido-Clave-Para-Mantener-Ca%C3%ADa-En-La-Inflaci%C3%B3n-de-Los-%C3%BAltimos-12-Meses,-Dice-Minagricultura.aspx>.
- Mittal, A., Krejci, C. C., & Craven, T. J. (2018). Logistics best practices for regional food systems: A review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su10010168>
- Mohammed, A., Potdar, V., Quaddus, M., & Hui, W. (2023). Blockchain Adoption in Food Supply Chains: A Systematic Literature Review on Enablers, Benefits, and Barriers. *IEEE Access*, 11, 14236–14255. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3236666>
- Nguyen, T. D., Nguyen-Quang, T., Venkatadri, U., Diallo, C., & Adams, M. (2021). Mathematical Programming Models for Fresh Fruit Supply Chain Optimization: A Review of the Literature

- and Emerging Trends. In *AgriEngineering* (Vol. 3, Issue 3, pp. 519–541). MDPI.  
<https://doi.org/10.3390/agriengineering3030034>
- Parajuli, R., Thoma, G., & Matlock, M. D. (2019). Environmental sustainability of fruit and vegetable production supply chains in the face of climate change: A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 650, pp. 2863–2879). Elsevier B.V.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.019>
- RAE. (2024a). *Costo*. Diccionario de La Lengua Española. <https://dle.rae.es/costo>
- RAE. (2024b). *Mercado*. Diccionario de La Lengua Española. <https://dle.rae.es/mercado>
- RAE. (2024c). *Precio*. Diccionario de La Lengua Española. <https://dle.rae.es/precio>
- Rico Lugo, S. D., Kimita, K., & Nishino, N. (2023). Characteristics of decision process towards circular food economy: A review. In *Cleaner Logistics and Supply Chain* (Vol. 7). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2023.100104>
- Roitbarg, H. A. (2021). Factors behind the price increase in the agricultural sector at the beginning of the twenty-first century: Rent, wages, oil and productivity. *Desarrollo y Sociedad*, 2021(88), 169–199. <https://doi.org/10.13043/DYS.88.5>
- Rojas-Reyes, J. J., Rivera-Cadavid, L., & Peña-Orozco, D. L. (2024). Disruptions in the food supply chain: A literature review. In *Heliyon* (Vol. 10, Issue 14). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34730>
- Sánchez, M. C. (2022, January 12). *¿A qué se debe el alto costo de los alimentos?*  
<https://www.radionacional.co/actualidad/economia/precios-de-alimentos-por-que-estan-tan-caros>.
- Shepherd, A. (2001). Por qué cambian los precios. In *Interpretación y Uso de la Información de Mercados*. The Food and Agriculture Organization (FAO).
- Sridhar, A., Ponnuchamy, M., Kumar, P. S., Kapoor, A., Nguyen Vo, D. V., & Rangasamy, G. (2023). Digitalization of the agro-food sector for achieving sustainable development goals:

- a review. In *Sustainable Food Technology* (Vol. 1, Issue 6, pp. 783–802). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d3fb00124e>
- Tran, D., Schouteten, J. J., Gellynck, X., & De Steur, H. (2024). How do consumers value food traceability? – A meta-analysis. In *Food Control* (Vol. 162). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110453>
- UPRA. (n.d.). *Descripción de funciones*. Retrieved August 14, 2024, from <https://upra.gov.co/es-co/Documents/Descripci%C3%B3n%20de%20funciones%20.pdf>
- UPRA. (2024a). *Boletín Mercado laboral Junio de 2024*. [https://upra.gov.co/es-co/Boletines\\_Reportes/Empleo%20junio%20de%202024.pdf](https://upra.gov.co/es-co/Boletines_Reportes/Empleo%20junio%20de%202024.pdf)
- UPRA. (2024b). *Exportaciones de productos agropecuarios y agroindustriales Marzo de 2024*. [https://upra.gov.co/es-co/Boletines\\_Reportes/Exportaciones%20de%20productos%20agropecuarios%20y%20agroindustriales%20marzo%20de%202024.pdf](https://upra.gov.co/es-co/Boletines_Reportes/Exportaciones%20de%20productos%20agropecuarios%20y%20agroindustriales%20marzo%20de%202024.pdf)
- UPRA. (2024c). *Fertilizantes*. <https://experience.arcgis.com/experience/7755bf3d75e944baaf0a380906402273/page/Fertilizantes/?views=Total-Fertilizantes%2CTotal-Plaguicidas>
- UPRA. (2024d). *Importaciones de productos agropecuarios y agroindustriales Mayo de 2024*. [https://upra.gov.co/es-co/Boletines\\_Reportes/Importaciones%20de%20productos%20agropecuarios%20y%20agroindustriales%20mayo%20de%202024.pdf](https://upra.gov.co/es-co/Boletines_Reportes/Importaciones%20de%20productos%20agropecuarios%20y%20agroindustriales%20mayo%20de%202024.pdf)
- UPRA. (2024e). *Índice de Precios de Insumos Agrícolas*. <https://experience.arcgis.com/experience/7755bf3d75e944baaf0a380906402273/page/IndiceTotal/?views=Total-Fertilizantes%2CTotal-Plaguicidas>
- UPRA. (2024f). *Plaguicidas*. <https://experience.arcgis.com/experience/7755bf3d75e944baaf0a380906402273/page/Plaguicidas/?views=Total-Fertilizantes%2CTotal-Plaguicidas>

- UPRA. (2024g). *Producto Interno Bruto I trimestre de 2024*. [https://upra.gov.co/es-co/Boletines\\_Reportes/PIB%20I%20trimestre%202024.pdf](https://upra.gov.co/es-co/Boletines_Reportes/PIB%20I%20trimestre%202024.pdf)
- Van Bussel, L. M., Kuijsten, A., Mars, M., & Van 't Veer, P. (2022). Consumers' perceptions on food-related sustainability: A systematic review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 341). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130904>
- Villalobos, J. R., Soto-Silva, W. E., González-Araya, M. C., & González-Ramirez, R. G. (2019). Research directions in technology development to support real-time decisions of fresh produce logistics: A review and research agenda. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 167). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105092>
- World Economic Forum. (2020). *Global Competitiveness Report*.
- Wright, C. M., Smith, M. E., & Wright, B. G. (2007). Hidden Costs Associated with Stakeholders in Supply Management. *Academy of Management Perspectives*, 21(3), 64–82. <https://doi.org/10.5465/amp.2007.26421239>
- Wu, W., Zhang, A., van Klinken, R. D., Schrobback, P., & Muller, J. M. (2021). Consumer trust in food and the food system: A critical review. In *Foods* (Vol. 10, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods10102490>