



**Impacto de las variables económicas sobre los precios de los fertilizantes en el sector de la
caña de azúcar en el Valle del Cauca (Colombia)**

Por

María Alejandra Orduz Balvin¹

Estyven García Zapata²

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magíster en
Administración Financiera

Asesor:

Cristian Andrés Echeverri Castaño, MSC

UNIVERSIDAD EAFIT

Pereira, octubre, 2023

¹ alejandraorduzbalvin@gmail.com

² steven-990@hotmail.com

RESUMEN

Este estudio pretende evaluar el impacto de las variables económicas sobre los precios de los fertilizantes en el sector de la caña de azúcar en el Valle de Cauca (Colombia). La producción de caña de azúcar, que históricamente ha sido una industria importante para este departamento, requiere gran cantidad de insumos, y estos en su mayoría son importados al país, con lo cual la variación en sus precios tiene un impacto significativo en el costo total de la producción. Para Colombia, no se encontró evidencia previa de estudios. Por tanto, se hizo un recorrido bibliográfico en el que se destacaron varias teorías, tales como las de oferta y demanda. Enseguida se contrastaron las teorías con varios modelos de regresión (múltiple, Ridge, Lasso, bosque aleatorio y panel de datos), para lo que se tomó información del Dane a través del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA), que contiene los precios mensuales de los fertilizantes DAP, KCL, urea y SAM. Igualmente, los datos de las variables explicativas se tomaron con la misma periodicidad de los fertilizantes. Los resultados de los diferentes modelos concordaron con lo planteado en las hipótesis, evidenciando un efecto positivo de las variables precio del petróleo WTI, tasa representativa del mercado, precio por tonelada de fertilizantes importados y guerra, en la variación de los precios de los fertilizantes estudiados, siendo estas las variables más determinantes en la variación de estos precios.

Palabras clave: variables económicas, precios de fertilizantes, sector de la caña de azúcar

ABSTRACT

This study aims to evaluate the impact of economic variables on fertilizer prices in the sugar cane sector in Valle de Cauca (Colombia). The production of sugar cane, which historically has been an important industry for this department, requires a large amount of supplies, and these are mostly imported into the country, so the variation in their prices has a significant impact on the total cost of production. No previous evidence of studies was found for Colombia. Therefore, a bibliographic review was made, in which several theories such as supply, and demand were highlighted. The theories were then contrasted with several regression models (multiple, Ridge, Lasso, random forest and panel data), for which information was taken from the Dane through the SIPSA (Price and Supply Information System for the Agricultural Sector), which contains the monthly prices of DAP, KCL, urea and SAM fertilizers. Likewise, the data of the explanatory variables were taken with the same periodicity of the fertilizers. The results of the different models agreed with what was stated in the hypotheses, evidencing a positive effect of the variables WTI oil price, representative market rate, price per ton of imported fertilizers and war, on the variation in the prices of the fertilizers studied, these being the most determining variables in the variation of these prices.

Keywords: economic variables, fertilizer prices, sugarcane sector

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
1. IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	10
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GENERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. MARCO TEÓRICO.....	17
3.1. TEORÍAS	17
3.1.1. Teoría de la utilidad marginal y la demanda	18
3.1.2. Teoría de la empresa y la oferta	18
3.1.3. Teoría del costo de producción	18
3.1.4. Teoría de la competencia perfecta y el equilibrio de mercado.....	19
3.1.5. Teoría de la competencia monopolística.....	19
3.1.6. Teoría del monopolio y la discriminación de precios	19
3.1.7. Teoría del oligopolio y el comportamiento estratégico.....	20
3.1.8. Teoría de juegos y la formación de precios.....	20
3.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	21
3.3. ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA	23
3.3.1. Regulación en Colombia	26
4. METODOLOGÍA	27
4.1. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	27
4.2. MUESTRA.....	27
4.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES	28
4.3.1. Fosfato diamónico – DAP.....	28
4.3.2. Cloruro de potasio – KCL.....	29
4.3.3. Urea.....	29
4.3.4. Sulfato de Amonio – SAM.....	30

4.3.5.	Precio del petróleo WTI.....	30
4.3.6.	Tasa Representativa del Mercado (TRM).....	31
4.3.7.	Tasa de interés (COL).....	31
4.3.8.	Inflación.....	32
4.3.9.	Importación de fertilizantes (abonos) en toneladas.....	32
4.3.10.	Precio unitario en dólares (CIF) por tonelada de los fertilizantes (abonos) importados.....	33
4.3.11.	Demanda (producción de toneladas de caña de azúcar local).....	33
4.3.12.	Oferta (guerra Rusia-Ucrania).....	34
4.4.	DEFINICIÓN DE HIPÓTESIS.....	34
4.4.1.	Precio del petróleo WTI.....	35
4.4.2.	TRM.....	35
4.4.3.	Tasas de interés (COL).....	35
4.4.4.	Inflación.....	36
4.4.5.	Importación de fertilizantes (abonos).....	36
4.4.6.	Demanda (producción de toneladas de caña de azúcar local).....	36
4.4.7.	Precio unitario en dólares (CIF) por tonelada de los fertilizantes (abonos) importados.....	37
4.4.8.	Oferta (guerra Rusia).....	37
4.5.	Técnica analítica.....	38
5.	RESULTADOS.....	40
5.1.	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	40
5.2.	MATRIZ DE CORRELACIÓN.....	42
5.3.	MODELO REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE.....	43
5.4.	MODELO REGRESIÓN RIDGE.....	49
5.5.	MODELO REGRESIÓN LASSO.....	52
5.6.	MODELO BOSQUE ALEATORIO.....	56
5.7.	MODELO PANEL DE DATOS.....	59
5.8.	PERTINENCIA DE LOS RESULTADOS.....	61
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65

6.1.	CONCLUSIONES	65
6.2.	RECOMENDACIONES	67
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	ANEXOS	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Formulación de fertilizantes por hectárea de caña, en kilogramos	26
Tabla 2 Estadística descriptiva.....	40
Tabla 3 Matriz de correlación	42
Tabla 4 Matriz de correlación de panel.....	43
Tabla 5 Regresión con modelo lineal múltiple. Variable DAP	44
Tabla 6 Regresión con modelo lineal múltiple. Variable KCL	45
Tabla 7 Regresión con modelo lineal múltiple. Variable UREA.....	47
Tabla 8 Regresión con modelo lineal múltiple. Variable SAM.....	48
Tabla 9 Regresión con modelo Ridge. Variable DAP	49
Tabla 10 Regresión con modelo Ridge. Variable KCL	50
Tabla 11 Regresión con modelo Ridge. Variable UREA	51
Tabla 12 Regresión con modelo Ridge. Variable SAM	52
Tabla 13 Regresión con modelo Lasso. Variable DAP	53
Tabla 14 Regresión con modelo Lasso. Variable KCL	54
Tabla 15 Regresión con modelo Lasso. Variable UREA	54
Tabla 16 Regresión con modelo Lasso. Variable SAM.....	55
Tabla 17 Regresión con modelo de Bosque aleatorio. Variable DAP.....	57
Tabla 18 Regresión con modelo de Bosque aleatorio. Variable KCL.....	57
Tabla 19 Regresión con modelo de Bosque aleatorio. Variable UREA	58
Tabla 20 Regresión con modelo de Bosque aleatorio. Variable SAM	59
Tabla 21 Regresión con modelo de panel de datos.....	60
Tabla 22 Comparación de resultados de relaciones entre variables regresoras y predictoras	61

INTRODUCCIÓN

El sector de la caña de azúcar, una industria clave en el Valle de Cauca (Colombia), tiene un impacto significativo en la economía local y regional. Este sector constituye un importante motor económico que genera empleo e ingresos para muchas comunidades. La caña de azúcar en su fase de producción requiere gran cantidad de insumos agrícolas, tales como fertilizantes, herbicidas y maquinaria, entre otros, la mayoría de los cuales son importados. Los fertilizantes con mayor uso en la producción de la caña de azúcar son urea, sulfato de amonio (SAM), fosfato diamónico (DAP), fosfato monoamónico (MAP) y cloruro de potasio (KCL).

En Colombia, los insumos agrícolas son netamente importados. Por esta razón sus precios están determinados principalmente por variables exógenas propias de la dinámica del mercado, tales como las variaciones de los precios internacionales (interacción de la oferta y demanda mundial), los precios de los hidrocarburos (petróleo) y los movimientos de la tasa de cambio. La variación en cualquiera de estas variables puede tener un impacto significativo sobre los precios de los insumos agrícolas. En este sentido, es importante entender cómo estas variables afectan no sólo los precios de los insumos, sino también, en última instancia, la producción de caña de azúcar en el Valle de Cauca.

En Colombia, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2011) es responsable de los mecanismos de evaluación y control en los movimientos de los precios de los insumos agropecuarios, y de verificar que estos realmente correspondan a los movimientos que registran las variables de mercado que los determinan, y no a decisiones arbitrarias salidas del contexto económico, que puedan catalogarse como conductas de abuso en la fijación de precios en el mercado.

Por lo anterior, el desarrollo de la presente investigación busca recabar y brindar información relevante y oportuna al respecto, no sólo debido a la importancia que el sector de la caña de azúcar tiene en la economía del Valle de Cauca, sino a la necesidad de comprender con mayor detalle las dinámicas de los precios de los insumos agrícolas y el impacto que tienen sobre estas las variables económicas. La información obtenida en esta investigación será valiosa para los productores de caña de azúcar; los ingenios azucareros, tales como Riopaila Castilla, Incauca, Manuelita, Mayagüez y Providencia, los cuales para 2020 tenían un área sembrada en caña de azúcar de alrededor de 298.000 hectáreas; los reguladores gubernamentales, y otros interesados en el sector agrícola del departamento, tales como Asocaña, Procaña y Cenicaña.

1. IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

En Colombia, la producción primaria de caña de azúcar se ubica principalmente en 30 municipios de Valle del Cauca, 9 municipios de Cauca, y 11 municipios de los departamentos del Eje Cafetero (Caldas, Risaralda y Quindío). Para 2019, la actividad agrícola destinada a la producción de caña de azúcar aportó el 1,5% del valor agregado por el sector agropecuario. La agroindustria de la caña de azúcar participó en total con el 0,27% del valor agregado de la economía colombiana (Minagricultura, 2020).

Para 2017, el sector de la caña de azúcar representó un 38,1% del PIB agrícola del Valle del Cauca, lo que lo sitúa como uno de los principales sectores económicos de este departamento (Caracol, 2017). En la región, existen actualmente alrededor de 200.000 hectáreas sembradas en caña de azúcar, de las cuales, un 25% corresponde a tierras propias de los ingenios y 75% el restante, a más de 2750 cultivadores de caña (Asocaña, 2021).

De acuerdo con un estudio publicado por *The Business Research Company* (2023), el mercado global de agroquímicos en 2023 es de US\$259,4 billones, que corresponde a un crecimiento del 7,3% entre 2022 y 2023, y se espera que para 2027 este mercado crezca un 6,5%, equivalente a US\$334,12 billones. Lo anterior, como consecuencia del incremento de la población y, por ende, del aumento en la demanda en la producción de alimentos.

A nivel mundial, anualmente se producen aproximadamente 400 millones de toneladas de fertilizantes, principalmente fertilizantes simples, tales como nitrogenados, fosfóricos y potásicos. El principal productor mundial de fosfato diamónico (DAP) es Marruecos, los mayores productores de cloruro de potasio (KCL) son Canadá y Rusia y si bien la producción de urea está geográficamente más distribuida, se concentra a nivel mundial en pocas empresas. Estados

Unidos, China e India son los principales consumidores de fertilizantes en el mundo, debido a la escala de producción agropecuaria que presentan y a las necesidades crecientes de alimentación que tiene sus poblaciones (Estrada, 2022a).

Dada la alta dependencia de materia prima importada para la elaboración de fertilizantes en Colombia, anualmente se importan cerca de 1,5 millones de toneladas. El 94% de las ventas de fertilizantes en el sector agrícola se concentra en seis empresas: Monómeros Colombo Venezolanos S.A. (37%), Abonos Colombianos S.A. (Abocol) (20%), Ecofertil S.A. (15%), Yara Colombia Ltda. (13%), Nutrición de Plantas S.A. (5%) y C.I. de Azúcares y Mieles S.A. (Ciamsa) (4%). El 75% de las importaciones de fertilizantes del país se concentran en: urea, fosfato diamónico (DAP), fosfato monoamónico (MAP) y cloruro de potasio (KCL). Las importaciones colombianas de urea provienen principalmente de Rusia (29%), Venezuela (20%), Trinidad y Tobago (14%) y Ucrania (13%); las importaciones de KCL provienen de Canadá (37%), Alemania (29%), Estados Unidos (14%) y Rusia (10%), y las importaciones de DAP y MAP tienen su origen en Estados Unidos (94%) (Abonamos, 2020).

En el país, históricamente los precios de los fertilizantes han presentado aumentos paulatinos que, en su mayoría, han estado por debajo del alza de los precios internacionales; sin embargo, en años recientes se ha evidenciado que los precios se han visto afectados por diversas causas, tales como la fluctuación de la demanda y la oferta en el mercado, coyunturas políticas y económicas recientes y políticas gubernamentales tanto locales como internacionales (Estrada, 2022b).

En Colombia, el precio de los fertilizantes más importantes ha aumentado en los últimos años debido a varios factores que se describen a continuación.

El incremento en el precio internacional de materias primas surge como consecuencia de la creciente demanda de grandes consumidores, tales como China, y de medidas restrictivas implementadas por algunos países exportadores de insumos agrícolas debido a la pandemia de covid-19. Las medidas adoptadas durante la pandemia generaron escasez de contenedores a escala mundial, lo que provocó el aumento de hasta de un 300% en los fletes (Lesmes, 2022).

China y Rusia, que están entre los principales productores de fertilizantes simples en el mundo, adoptaron nuevas medidas arancelarias para proteger su producción nacional, lo que ha generado un aumento en el costo de estos insumos (Estrada, 2022a).

Según un informe de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal), los países latinoamericanos importan cerca del 85% de los insumos que se usan en cultivos agrícolas, lo que evidencia la gran dependencia que tienen de las importaciones de estas materias primas (Portafolio, 2023).

En Colombia, los fertilizantes pueden significar entre el 30% y 40% del costo de la producción agrícola, según lo señala el presidente de la Asociación Colombiana de Agricultores (SAC), Jorge Bedoya. Asimismo, según lo indicó el exministro de Agricultura Andrés Valencia Pinzón, la escasez de fertilizantes presentada en los últimos años ha generado un aumento en los precios y ha afectado negativamente la producción agrícola en el país. Como consecuencia de este aumento en el precio, los productores colombianos se están viendo en la necesidad de racionar el uso de fertilizantes por el elevado costo, lo que aumenta la probabilidad de que en los próximos años disminuya la productividad de los cultivos (Portafolio, 2023). En última instancia, esto puede llevar a una reducción de la competitividad de la producción agrícola colombiana y a una disminución de las exportaciones agrícolas del país (EFE, 2023).

La crisis de los contenedores presentada en gran parte del período 2021-2022 generó retrasos y aumentos en los costos de transporte de las materias primas importadas por Colombia, que afectó particularmente a las utilizadas en la producción de bienes y servicios, ocasionando así un impacto negativo en la rentabilidad de las empresas que dependen de tales materias primas. En consecuencia, esta situación condujo a un aumento en los precios de los productos finales para los consumidores (Lesmes, 2022).

El incremento en la demanda de grandes consumidores tales como China e India podría tener un impacto negativo en la economía colombiana. Este aumento en la demanda podría llevar a un aumento en los precios de las materias primas importadas y, en consecuencia, podría disminuir la competitividad de las empresas colombianas y aumentar su dependencia de los países que producen estas materias primas (Zapata, 2021).

Un estudio publicado en 2019 por el Banco de la República de Colombia examinó el impacto de los precios del petróleo en la economía colombiana durante el período 2000-2018 (Perilla, 2019). El estudio encontró que, si bien un aumento en los precios del petróleo puede tener efectos positivos en la economía, también puede tener efectos negativos, especialmente en términos de inflación, ya que el aumento de los precios del petróleo aumenta los costos de producción y, por lo tanto, los precios al consumidor. Además, el estudio encontró que un aumento en los precios del petróleo puede llevar a un aumento en la apreciación de la moneda, lo que, a su vez, puede afectar la competitividad de otros sectores de la economía, tales como la agricultura y la manufactura.

La depreciación de la tasa de cambio puede tener un impacto negativo en varios frentes de la economía colombiana. Una de las consecuencias es que puede hacer que las importaciones sean más costosas y, a su vez, generar para los consumidores un incremento en los precios de los bienes

y servicios, afectando tanto la inflación como el poder adquisitivo de la población (Banco de la República, 2021).

De igual manera, acontecimientos políticos internos tales como el paro nacional que tuvo lugar en Colombia en 2021 permitieron registrar un encarecimiento en los precios de los insumos agrícolas debido a los inconvenientes causados en las cadenas logísticas del país. Tal como lo señala Sánchez (2021): “Jorge Bedoya, presidente de la SAC, afirmó que esta situación implica un ‘retraso o interrupción en la cadena logística. Cuando se corta la cadena logística, volver a ponerla a funcionar no será de un día para otro’” (párr. 4).

Dentro del contexto político y económico a nivel internacional, un informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) indica que el conflicto entre Rusia y Ucrania ha afectado la producción de caña de azúcar, ya que ambos países son dos de los principales productores y exportadores de fertilizantes nitrogenados en el mundo (EFE, 2022).

En 2017, Rusia exportó 12,2 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados, y Ucrania exportó 4,4 millones de toneladas. Colombia, uno de los principales compradores de fertilizantes de la región, importó en 2021 fertilizantes por valor de \$62.000 millones, procedentes en su gran mayoría de Rusia y, en menor medida, de Ucrania. Según el presidente de la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC), Jorge Enrique Bedoya, la guerra en Ucrania ha generado una crisis en el mercado internacional de insumos necesarios para la producción de alimentos y ha afectado negativamente a los suelos y animales que sustentan la industria agropecuaria (EFE, 2022).

Los acontecimientos políticos y económicos de los últimos años y la volatilidad en los factores macroeconómicos han incidido en el precio de los insumos agropecuarios en Colombia, lo que, a su vez, ha impactado en el costo de producción de los agricultores. Como resultado, el aumento de los precios de los insumos agropecuarios se ha convertido en un desafío para la producción de alimentos en el país (Minagricultura, 2021).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto que las variables económicas tienen sobre el precio de los fertilizantes en el sector de la caña de azúcar, en el Valle del Cauca (Colombia).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los factores económicos que explican las variaciones en los precios de los fertilizantes en el sector de la caña de azúcar.
- Medir las variaciones de los factores económicos que justifican los cambios sobre los precios de los fertilizantes en el sector de la caña de azúcar.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. TEORÍAS

Las primeras teorías de la oferta y la demanda, que surgieron a comienzos del siglo XIX, constituyeron el modelo económico básico para la formación de precios en los mercados de bienes y servicios. Entre estas, se formularon la teoría de la oferta propuesta por Say (1803) a principios de siglo, y la teoría de la demanda propuesta por Marshall (1890) a finales de este.

Say (1803) sostiene que los productores están dispuestos a ofrecer una mayor cantidad de un bien o servicio en el mercado a un precio más elevado, dado que esto les proporciona mayores beneficios y recompensas por su producción; además, que la oferta está influida por diversos factores, como son los costos de producción, los precios de los insumos, las expectativas de las empresas y la tecnología disponible.

Marshall (1890), por su parte, establece que la demanda de un bien o servicio está definida por varios factores, entre ellos el precio del producto, las preferencias del consumidor, los ingresos de los consumidores, el precio de bienes relacionados (sustitutos y complementos) y los factores sociodemográficos; además, que la demanda es sensible a los precios de los bienes relacionados y a los cambios en los ingresos del consumidor.

Cournot (1838) dice que la interacción entre la oferta y la demanda se manifiesta en un punto en el cual las cantidades ofrecidas y demandadas son iguales, de tal manera que se genera un equilibrio de mercado y una estabilización de los precios. El equilibrio de mercado se alcanza cuando los productores y consumidores logran una convergencia en sus preferencias y objetivos, generando una asignación eficiente de recursos.

Más tarde, se desarrollaron las principales teorías sobre modelos de formación de precios, que se describen a continuación.

3.1.1. Teoría de la utilidad marginal y la demanda

Marshall (1890) establece que la demanda de un bien o servicio está determinada por el principio de utilidad marginal decreciente. Según esta teoría, la utilidad adicional de cada unidad disminuye a medida que los consumidores adquieren más unidades de un bien. *Ceteris paribus* (manteniendo todo lo demás constante), los consumidores demandarán más unidades de un bien cuando su precio sea menor, y menos unidades cuando su precio sea mayor. Esta relación inversa entre precio y cantidad demandada es representada mediante la curva de demanda.

3.1.2. Teoría de la empresa y la oferta

Esta teoría se enfoca en cómo las empresas determinan su nivel de producción y de oferta en el mercado. Esta teoría postula que las empresas buscan maximizar sus beneficios ajustando su producción, teniendo en cuenta sus restricciones de recursos y su capacidad organizacional. Asimismo, dicho autor analiza cómo los costos de producción, las condiciones del mercado, la competencia y la tecnología influyen en las decisiones de producción de la empresa y, por ende, en la curva de oferta (Penrose, 1995[1959]).

3.1.3. Teoría del costo de producción

Esta teoría se centra en el análisis de los costos asociados a la producción de bienes y servicios y examina cómo la escala de producción, los costos de producción y la tecnología afectan los costos totales de una empresa. Consecuentemente, estos costos se reflejarán en la curva de oferta, ya que

se deberán establecer precios que permitan cubrir los costos de producción y obtener un margen de beneficio adecuado (Ricardo, 1817).

3.1.4. Teoría de la competencia perfecta y el equilibrio de mercado

Walras (1874) describe un mercado idealizado donde existen numerosos compradores y vendedores que ofrecen un producto homogéneo y tienen información perfecta sobre los precios y las condiciones del mercado. En este modelo, el precio del bien se determina por el equilibrio entre los oferentes y los demandantes, donde la cantidad ofrecida es igual a la cantidad demandada. En este mercado, los precios tienden a ajustarse rápidamente para lograr este equilibrio, y las empresas no tienen influencia en el precio.

3.1.5. Teoría de la competencia monopolística

Chamberlin (1933) describe un enfoque que combina elementos de la competencia perfecta y el monopolio. Esta teoría asume la existencia una cantidad significativa de productores de bienes diferenciados, que enfrentan una curva de demanda inclinada debido a la diferenciación de sus productos. Cada empresa tiene cierto poder de mercado para establecer precios ligeramente diferentes para sus bienes, lo que resulta en una mayor flexibilidad en la fijación de precios, ya que ninguna de estas cuenta con un control dominante sobre el mercado.

3.1.6. Teoría del monopolio y la discriminación de precios

Robinson (1933) se enfoca en el comportamiento de una empresa cuando es el único proveedor de un bien o servicio en el mercado. A la luz de este modelo, la empresa monopolista tiene un poder significativo para fijar el precio del bien, ya que no enfrenta una competencia directa.

También se enfoca en la discriminación de precios, donde la empresa les vende el mismo bien o servicio a diferentes precios y a diferentes grupos de consumidores, con el fin de maximizar sus beneficios.

3.1.7. Teoría del oligopolio y el comportamiento estratégico

Von Stackelberg (1934) explora el comportamiento de un mercado dominado por un pequeño número de empresas que interactúan estratégicamente. En este contexto, cada empresa toma decisiones de producción considerando cómo sus acciones pueden afectar las decisiones de sus competidores. Este modelo introduce la idea de un líder y unos seguidores, donde una empresa actúa como el líder, y las demás, como seguidoras. El líder toma decisiones de producción primero y anticipa la reacción de las seguidoras, lo que afecta la dinámica de precios y producción en el mercado.

3.1.8. Teoría de juegos y la formación de precios

La teoría de juegos y formación de precios es un enfoque que analiza el comportamiento estratégico de los agentes económicos en situaciones interactivas. Esta teoría ha sido aplicada para estudiar la formación de precios y la competencia en diversos contextos económicos. Los juegos de competencia, como el dilema del prisionero y el juego de Cournot (1838) son ejemplos de modelos utilizados para examinar cómo las decisiones estratégicas de los participantes influyen en los resultados y la formación de precios en un mercado (Nash, 1950).

3.2. REVISIÓN DE LITERATURA

Desde diversos enfoques se han desarrollado estudios sobre la variación de los precios en el sector agrícola.

Roitbarg (2021) analizó los determinantes que hay detrás del aumento en los precios agrícolas a inicios del siglo XXI, con el objetivo de esclarecer la transición entre los mayores precios de los bienes agrícolas y las nuevas condiciones del mercado. Para implementar esta metodología se aplicó un enfoque clásico de precios e información de matrices insumo-producto. Esta metodología permite hacer una representación ordenada y resumida del equilibrio entre la oferta y la utilización de bienes y servicios en una economía. Los resultados de su análisis permitieron concluir que el alza en los precios del sector agrícola está asociada a los cambios geopolíticos de los últimos tiempos, los cuales generan un nuevo escenario mundial que, a su vez, ha transformado la demanda efectiva y, sobre todo, la oferta de algunas materias primas.

Landívar y Salazar (2013) examinaron la volatilidad de los precios de la urea y su impacto en la demanda del sector agrícola de Ecuador, en el período 1990- 2012, enfocándose en la volatilidad de los precios de la urea generada por la sensibilidad de los precios del petróleo y de la industria petroquímica. En su metodología, usaron información en series de tiempo que se recogieron de fuentes secundarias tales como el Banco central del Ecuador. Esta metodología permitió utilizar datos tales como la cantidad de toneladas de urea importadas en Ecuador. Esta investigación logró concluir que la fijación de los precios de la urea está directamente relacionada con los precios de los bienes energéticos y su disponibilidad futura. Esto debido a que los derivados del petróleo sirven como materia prima para la producción de la urea.

Lanteri (2012) analizó el comportamiento de los precios reales de las principales materias primas agrícolas (trigo, maíz, soja y arroz), utilizando modelos de SVAR, con restricciones de corto plazo, y datos anuales que abarcan el período 1960-2010. Además, buscó evaluar los efectos de algunos importantes determinantes microeconómicos (inventarios) y macroeconómicos (actividad industrial en las economías avanzadas, tasas de interés o expansión monetaria, tipos de cambio) en la determinación de estos precios. Los resultados de su análisis sugieren que los precios de estas materias primas se incrementan ante mejoras en el crecimiento industrial, políticas monetarias expansivas, depreciación del dólar y reducción de inventarios. Asimismo, que hay una relación inversa entre la razón inventarios/consumo y los precios reales de los granos.

Vargas (2014) analizó los factores determinantes en la conformación de precios nacionales de tres *commodities* agrícolas colombianas: aceite crudo de palma, azúcar blanco y café, con el fin de poner a prueba la hipótesis del incumplimiento de la ley del único precio. Para dicho estudio, se hace una modelación econométrica utilizando los precios nacionales, los precios internacionales, la tasa de cambio, los fletes y los aranceles en el período 2009-2013. Los resultados sugieren que el único *commodity* que no se ve afectado por las variables estudiadas es el azúcar blanco. En cambio, dichas variables sí logran explicar la conformación del precio del aceite crudo de palma y del café en 75,6% y 98,4%, respectivamente.

Mora y otros (2014) analizan el grado de contaminación en la dinámica de dos índices de precios de productos agrícolas: cereales y aceites. En su trabajo *Volatilidad e interdependencia en los precios agrícolas a partir de un modelo GARCH multivariado*, utilizando información mensual entre enero de 2000 y abril de 2013, y modelos GARCH multivariados, obtuvieron resultados que indican que los precios de estos están altamente correlacionados y que cada vez existe una contaminación más rápida y en mayor medida entre los distintos mercados que caracterizan a los productos agrícolas.

Si bien los anteriores estudios se han enfocado en la variación de precios en el sector agrícola en diversos períodos, hay muy pocos estudios enfocados en el mercado de fertilizantes, lo cual justifica desarrollar la presente investigación sobre el impacto de las variables económicas en el precio de los fertilizantes en el sector de la caña de azúcar, en el Valle del Cauca, Colombia.

3.3. ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA

A nivel mundial, el mercado de fertilizantes está segmentado, por tipo de fertilizante, en simples y complejos; por tipo de cultivo, en granos y cereales, legumbres y semillas oleaginosas, cultivos comerciales, frutas y verduras y otros tipos de cultivos; y por geografía. Esta industria está concentrada en países que tienen gran capacidad de producción, tales como China, India, Estados Unidos, Rusia y Canadá (Merino, 2023). Adicionalmente, según los ingresos generales del mercado de fertilizantes en 2020, la producción y comercialización de fertilizantes a nivel mundial está altamente consolidada en las siguientes empresas: Yara International ASA, The Mosaic Company, Nutrien Limited, EuroChem Group, PhosAgro, K+S Aktiengesellschaft y Groupe OCP (Mordor Intelligence, s. f.).

Tal como lo indica el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2007), en el mercado mundial la urea, el DAP y el KCL se comportan como *commodities*, y sus mercados son oligopolios geográficamente concentrados. Marruecos es el gran productor global de DAP, Canadá y Rusia son los mayores productores de KCL y la producción de urea, aunque está geográficamente más distribuida, a nivel mundial se concentra en unas pocas grandes empresas.

En cuanto al consumo de fertilizante agrícolas, los principales países consumidores son China, India, Estados Unidos, Brasil e Indonesia, debido a que estas naciones tienen grandes extensiones de tierras cultivables y una creciente población que demanda cada vez una mayor producción de

alimentos. Asia-Pacífico es la región que mayor consumo tiene de fertilizantes, llegando a representar el 60% del mercado total a nivel mundial, y China representa cerca de la mitad del consumo en esta región del mundo. Actualmente existe una gran demanda de fertilizantes nitrogenados en Asia, y se espera que en los próximos años también aumente significativamente el mercado de fertilizantes potásicos. Para 2021, el consumo de fertilizantes en el este de Asia alcanzó unos 61,9 millones de toneladas de fertilizantes, mientras que el sur del continente consumió 38,7 millones de toneladas de fertilizantes (Mordor Intelligence, s. f.).

En el caso de Colombia, al ser este uno de los principales países agrícolas en América Latina, el consumo de fertilizantes ha ido en aumento debido a la expansión de la agricultura y, en años recientes, a la implementación de prácticas agrícolas modernas. Entre las principales áreas de cultivo de Colombia se incluyen café, flores, banano, caña de azúcar y palma de aceite. Colombia importa una gran parte de los fertilizantes agrícolas de Rusia, Estados Unidos y China, captando el 70% del mercado interno del país. Además, de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, para 2021 el 20% de todos los fertilizantes importados provenían de esa nación euroasiática, que equivalen a 437.876 toneladas de insumos básicos para los cultivos (Infobae, 2022).

En Colombia, el 94% de las ventas de fertilizantes agrícolas se concentra en seis empresas: Monómeros Colombo Venezolanos S.A. (37%), Abonos Colombianos S.A. (Abocol) (20%), Ecofertil S.A. (15%), Yara Colombia Ltda. (13%), Nutrición de Plantas S.A. (5%) y C.I. de Azúcares y Mieles S.A. (Ciamsa) (4%). En este mercado, en Colombia se transan alrededor de 1,5 millones de toneladas año, donde el segmento dominante es el de fertilizantes inorgánicos, en el que predominan las concentraciones de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), que representan el 95% de las ventas totales. En el país, las importaciones de fertilizantes se concentran principalmente en fosfato diamónico (DAP), fosfato monoamónico (MAP) y cloruro

de potasio (KCL), que representan cerca del 75% del total de las importaciones de estos productos agrícolas. Entre 2000 y 2007, en promedio se importaron al país 445.000 toneladas de urea al año, 365.000 toneladas de KCL y 250.000 toneladas de fuentes de fósforo DAP y MAP (Abonamos, 2020).

En cuanto a la producción de caña de azúcar en Colombia, esta se concentra principalmente en el valle geográfico del río Cauca, que abarca 51 municipios y 6 departamentos (Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Caldas, Quindío y Meta), en el que actualmente hay sembradas 241.205 hectáreas, de las cuales un 25% corresponde a tierras propias de los ingenios, y el 75% restante pertenece a más de 2750 cultivadores de caña. La mayor parte de la producción de caña de azúcar en el país abastece a 12 ingenios (Carmelita, Incauca, La Cabaña, Manuelita, María Luisa, Mayagüez, Del Occidente, Pichichi, Providencia, Riopaila Castilla, Risaralda y San Carlos). En el país, es posible sembrar y cosechar caña durante todo el año debido a su clima y a los avances tecnológicos impulsados por el Centro de Investigación de la Caña (Cenicaña), que funciona con el aporte de todos los cultivadores e ingenios, lo que ha llevado a que la región se especialice en este cultivo y sea líder en productividad a nivel mundial (Asocaña, s. f.).

Para 2019, la actividad agrícola para la producción de caña de azúcar aportó el 1,5 % del valor agregado por el sector agropecuario. En total, la agroindustria de la caña de azúcar participó con el 0,27 % del valor agregado de la economía colombiana. Según Asocaña (s. f.), el sector de la caña de azúcar representa el 38,1 % del PIB agrícola del Valle del Cauca, lo que lo convierte en uno de los principales sectores económicos del departamento.

Los principales fertilizantes utilizados en el cultivo de la caña de azúcar son urea, sulfato de amonio (SAM), fosfato diamónico (DAP), fosfato monoamónico (MAP) y cloruro de potasio (KCL). La formulación de la fertilización por hectárea se muestra a continuación en la tabla 1.

Tabla 1*Formulación de fertilizantes por hectárea de caña, en kilogramos*

Insumo	Primera fertilización	Segunda fertilización	Tercera fertilización	Kilos totales por insumo
DAP	25			25
KCL	100			100
UREA	150	200		350
SAM	50	50	100	200

3.3.1. Regulación en Colombia

Fernández (2015) analiza las políticas públicas de regulación de precios en los fertilizantes simples en Colombia entre 1988 y 2013 y, por medio de una metodología descriptiva, examina la variabilidad de los precios de fertilizantes simples inorgánicos, tales como urea, DAP y KCL, entre 2007 y 2014, con el fin de analizar la relación entre el marco normativo para la regulación de precios de insumos agrícolas y el comportamiento de los precios. Como resultado, se observa el control en la solicitud de reportes de precios de venta y compra de insumos agropecuarios, mediante el sometimiento de los precios a libertad vigilada según lo establecido en la resolución 302 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2007); sin embargo, dicho ministerio nunca ha expedido o publicado una resolución en la que se determine un precio máximo para la venta de fertilizantes, que permita disminuir los costos de producción, de donde se concluye que las políticas públicas de regulación de precios agrícolas no son efectivas, ya que variables externas como el precio del petróleo y el gas y los aumentos en la demanda internacional generan aumentos en el valor de estos insumos.

4. METODOLOGÍA

4.1. FUENTES DE INFORMACIÓN

En el presente estudio se recopiló información para el período comprendido entre enero de 2015 y diciembre de 2022. Los datos obtenidos presentan la información mensual de los precios minoristas de los fertilizantes analizados (DAP, KCL, urea, SAM). Esta información se obtuvo del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (Sipsa), del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane, s. f. a). En cuanto a las variables explicativas, los precios del petróleo de referencia (WTI, por sus siglas en inglés *West Texas Intermediate*) se tomaron de Investing.com (s. f.).

Los datos de la tasa representativa del mercado (TRM) se obtuvieron del Banco de la República (s. f.), la información sobre la producción de toneladas de caña molida a nivel nacional fue tomada de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (Asocaña, 2023) y los datos históricos de las importaciones de fertilizantes (abonos) en toneladas y precios unitario CIF fue tomada del (Dane, s. f. b); sin embargo, la fuente primaria de las estadísticas de importaciones son generadas por la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (Dian). Por último, los datos de la tasa de interés en Colombia se tomaron del Banco de la República (2023) y los datos de la inflación en Colombia se tomaron del Banco de la República (s. f. b).

4.2. MUESTRA

En el presente estudio se acudió a los precios mensuales de los fertilizantes, suministrados por el Sipsa (Dane, s. f. a). Se tomaron como muestra los precios en pesos colombianos de los principales fertilizantes que se usan en el sector de la caña de azúcar: DAP, KCL, urea y SAM.

El Sipsa suministra los precios de los fertilizantes para los 32 departamentos del país. Además, para los fertilizantes objeto de estudio esta entidad únicamente provee precio promedio en la presentación de 50 kilos. Para efecto de este estudio se tomarán los precios de estos 4 fertilizantes en presentación de 50 kilos para Cali, capital del Valle del Cauca.

Los datos de las variables explicativas se tomaron con la misma periodicidad de los fertilizantes, es decir, con datos mensuales. Dentro de la investigación, las variables explicativas utilizadas fueron: la referencia del petróleo WTI; tanto la tasa representativa del mercado (peso colombiano por dólar americano) como la inflación y la tasa de interés para Colombia; la producción de caña de azúcar molida para el mercado colombiano y la importación (abonos) de fertilizantes que realiza el país.

4.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES

El presente estudio tomó como variables dependientes el precio en pesos colombianos de los principales fertilizantes que se usan en el sector de la caña de azúcar: DAP, KCL, urea y SAM; además, el precio en dólares del petróleo WTI, la tasa representativa del mercado (USD/COP), la tasa de interés del Banco de la República, la inflación, las importaciones de fertilizantes (abonos) tanto en toneladas como en precio unitario en dólares (CIF), la producción nacional de toneladas de caña de azúcar molida y la guerra entre Rusia y Ucrania como variables explicativas del aumento en el precio de los fertilizantes en el sector de la caña de azúcar en el Valle del Cauca. Dichas variables se describen a continuación.

4.3.1. Fosfato diamónico (DAP)

El fosfato diamónico (DAP, por sus siglas en inglés *diammonium phosphate*) es una fuente de fósforo (P) y de nitrógeno (N) para la nutrición de las plantas. En el cultivo de caña de azúcar, se

recomienda aplicarlo en los programas de fertilización en las etapas de establecimiento del cultivo. Este fertilizante se mide en función del precio del bulto estándar de 50 kilos.

Para el desarrollo de esta investigación, el fosfato diamónico se toma como una variable dependiente: DAP.

4.3.2. Cloruro de potasio (KCL)

El cloruro de potasio (0-0-60) es un fertilizante para aplicar al suelo que es apropiado para la preparación de mezclas en su forma granular y en la producción de un fertilizante denominado NPK, que contiene nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), químico en su forma estándar. El potasio es un elemento esencial en la producción de caña de azúcar, al cual se le atribuyen una gran cantidad de funciones en el crecimiento de las plantas. El cloruro de potasio (KCL) se mide en función del precio del bulto estándar de 50 kilos.

Para el desarrollo de esta investigación, el cloruro de potasio se toma como una variable dependiente: KCL.

4.3.3. Urea

La urea es un fertilizante simple a base de nitrógeno (46 %) para aplicar en el suelo, que es ideal para las etapas de desarrollo de la planta, ya que promueve la formación de tejido vegetal. Las exigencias nutricionales del cultivo de caña de azúcar y los contenidos medianos de materia orgánica de los suelos del valle del río Cauca hacen que las mayores limitaciones en cuanto a la fertilidad del suelo estén relacionadas con el nitrógeno, que hacen de la urea uno de los principales

y más eficaces fertilizantes para el cultivo de caña de azúcar en esta región (Quintero, 1997). Este fertilizante se mide en función del precio del bulto estándar de 50 kilos.

Para el desarrollo de esta investigación, la urea se toma como una variable dependiente: UREA.

4.3.4. Sulfato de amonio (SAM)

El sulfato de amonio 21-0-0-24 es un fertilizante que cubre las necesidades de nitrógeno y que además aporta azufre para cubrir la demanda del cultivo de caña de azúcar. También aumenta la disponibilidad del fósforo y de micronutrientes, permitiendo así el correcto crecimiento de las plantas. Este fertilizante se mide en función del precio del bulto estándar de 50 kilos.

Para el desarrollo de esta investigación, el sulfato de amonio se toma como una variable dependiente: SAM.

4.3.5. Precio del petróleo WTI

El petróleo está asociado a la producción de fertilizantes debido a su contribución al gran gasto energético requerido para producirlo. Los principales fertilizantes derivados del petróleo son la urea y los fosfatos de amonio, que son ampliamente utilizados en la producción de caña de azúcar. El petróleo se mide con el valor de referencia del mercado WTI.

Fernández (2015) señala que, en el período 2007-2008, el aumento en el precio del petróleo fue una de las principales causas de la tendencia alcista en el precio de los fertilizantes en Colombia.

4.3.6. Tasa representativa del mercado (TRM)

La tasa de cambio representativa del mercado (TRM) es la cantidad de pesos colombianos por un dólar de los Estados Unidos. Se calcula con base en las operaciones de compra y venta de divisas entre intermediarios financieros que transan en el mercado cambiario colombiano, con cumplimiento el mismo día cuando se realiza la negociación de las divisas. La TRM se mide como USD/COP.

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2007), mediante la Resolución 302 de 2007, por la cual se establece la política de precios en materia de insumos agropecuarios, indica que: “La tasa representativa del mercado es uno de los criterios utilizados para la fijación del precio máximo determinable de venta del insumo agropecuario” (art. 7).

4.3.7. Tasa de interés (COL)

La tasa de intervención de política monetaria, o tasa de referencia, es la tasa de interés mínima que el Banco de la República (2023) les cobra a las entidades financieras por la liquidez que les suministra mediante las operaciones de mercado abierto (OMA).

En la presente investigación, se toma la tasa de interés del mercado colombiano y se mide de forma mensual: T_INT.

Uno de los principales factores que influyen en la volatilidad de los precios agrícolas es la volatilidad en la tasa de interés (Balcombe, 2009).

4.3.8. Inflación

La inflación hace referencia a la variación de los precios de bienes y servicios en un período determinado. El Banco de la República (s. f. b) fija una meta de inflación anual, la cual se mide como la variación de doce meses del índice de precios al consumidor (IPC), calculado por el Dane (s. f. c).

En la presente investigación, la inflación se mide con el índice de precios al consumidor (IPC) mensual: INF.

Las políticas antinflacionarias restringen las exportaciones, lo cual genera acumulación de *stocks* y aumento en los precios, al restringir la oferta mundial (Roitbarg, 2021).

4.3.9. Importación de fertilizantes (abonos) en toneladas

Los fertilizantes son productos que se utilizan en la agricultura con el propósito de mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos. En Colombia, los fertilizantes son netamente importados. El 75 % de las importaciones de fertilizantes del país se concentran en urea, DAP, fosfato monoamónico (MAP, por sus siglas en inglés *monoammonium phosphate*) y KCL.

En la presente investigación, las importaciones de fertilizantes (abonos) se miden en toneladas: IMP_TON.

El aumento de los precios internacionales es transmitido al mercado interno en diferentes niveles y velocidades, dependiendo del grado de importancia de las importaciones en la oferta doméstica de los fertilizantes (Arias y Farro, 2010).

4.3.10. Precio unitario en dólares (CIF) por tonelada de los fertilizantes (abonos) importados

Los fertilizantes pueden significar entre un 30 % y un 40 % del costo de producción en el cultivo de la caña de azúcar. Un eventual aumento en el precio de los fertilizantes puede generar un racionamiento en su uso debido a su elevado costo, lo que aumenta la probabilidad de que la productividad de los cultivos descienda.

En la presente investigación, las importaciones de fertilizantes (abonos) se miden en precio unitario en dólares CIF por tonelada: P_TON.

El precio de los fertilizantes tiene un peso importante en la estructura de costos de producción de la caña de azúcar (Ricardo, 1817).

4.3.11. Demanda (producción de toneladas de caña de azúcar local)

La caña molida es el primer proceso de transformación que se le aplica a la caña en la producción de azúcar y de otros productos. La producción de caña de azúcar demanda gran cantidad de fertilizantes que son fundamentales para aumentar la productividad de los cultivos. La aplicación de fertilizantes depende de las necesidades del suelo y de los requerimientos nutricionales del cultivo.

En la presente investigación, la producción nacional de caña de azúcar se mide en toneladas de caña molida: CANA_TON.

El precio del fertilizante está atado a su demanda para la producción de caña de azúcar, lo cual se corrobora en lo propuesto por Cournot (1838).

4.3.12. Oferta (guerra Rusia-Ucrania)

Siendo Rusia y Ucrania unos de los principales países productores y exportadores de fertilizantes nitrogenados a nivel mundial, el conflicto presentado entre ambos países, iniciado en febrero de 2022, ha impactado en gran medida al sector agrícola y, por consiguiente, a los productores de caña de azúcar. Esto se debe a que las importaciones de fertilizantes del país están concentradas en la urea, el DAP, el MAP y KCL, los cuales provienen principalmente de Rusia y Ucrania. Aproximadamente un 42 % del fertilizante principal (urea) que se consume en el agro colombiano proviene de estos dos países en guerra, lo cual tiene un efecto directo en el alza de los precios de este importante fertilizante para el cultivo de la caña de azúcar.

En la presente investigación, se mide como una variable *dummy*: WAR.

Say (1803) establece que la oferta de un bien o servicio está influenciada por diversos factores, uno de los cuales son las expectativas sobre la producción. El conflicto entre Rusia y Ucrania ha afectado el mercado de fertilizantes a nivel mundial desde la producción hasta la cadena de suministro, generando escasez y aumento de precios.

4.4. DEFINICIÓN DE LA HIPÓTESIS

Una vez descritos los postulados teóricos de las variables, se expone la respectiva hipótesis por evaluar para cada una de las variables.

4.4.1. Precio del petróleo WTI

El cambio en el precio del petróleo supone una variación en el precio de los fertilizantes, dado que es una importante materia prima para su producción; además, se utiliza para el transporte de los fertilizantes, lo que lleva a que el costo para el productor agrícola aumente o disminuya, dependiendo de la variación del precio del petróleo.

La primera hipótesis supone que los precios de los fertilizantes varían de forma directa en función del aumento o disminución del precio del petróleo.

4.4.2. Tasa representativa del mercado (TRM)

La TRM es un indicador del valor promedio diario de la tasa de cambio entre el dólar estadounidense y el peso colombiano. Dicho de otra manera, es la cantidad de pesos colombianos que pagamos por cada dólar norteamericano.

La segunda hipótesis considera una relación directa entre los precios de los fertilizantes y el cambio en la TRM del día, ya que en Colombia estos insumos son en su mayoría importados.

4.4.3. Tasas de interés (COL)

La tasa de interés es el precio del dinero en el mercado financiero y es definida por el Banco de la República (2023).

La tercera hipótesis es que, a una mayor tasa de interés, los precios de los insumos, tales como los fertilizantes, se incrementan por cuanto los productores agrícolas tienen una alta dependencia de la financiación obtenida de diversos actores de la cadena de suministro.

4.4.4. Inflación

La inflación se refiere al aumento generalizado y sostenido de los precios de los bienes y servicios en un determinado período.

La cuarta hipótesis sugiere un encarecimiento de los precios de los fertilizantes en presencia de un período de alta inflación, ya que esta incrementa los costos en toda la cadena de suministro, lo que, a su vez, ocasiona el alza en el precio para el consumidor final.

4.4.5. Importación de fertilizantes (abonos)

La producción mundial de fertilizantes es de cerca de 400 millones de toneladas. Marruecos es el principal productor de DAP; Rusia y Canadá, del KCL; y la urea está geográficamente más distribuida, pero se concentra en unas pocas empresas a nivel mundial.

La quinta hipótesis sugiere que, en períodos en los que disminuye la importación de fertilizantes (abonos), el precio se incrementa por la acción de la ley de la oferta.

4.4.6. Demanda (producción de toneladas de caña de azúcar local)

A nivel mundial, la producción de la caña de azúcar es de casi 1700 millones de toneladas y abarca un área de más o menos 24 millones de hectáreas. Colombia es el productor número 12 a

nivel mundial, con una producción para 2022 de casi 24 millones de toneladas y un área sembrada de 172.000 hectáreas.

La sexta hipótesis supone una relación inversa entre el precio de los fertilizantes y la producción de caña de azúcar, ya que, a menor precio de los fertilizantes, más incentivos hay al consumo de este insumo y, a su vez, a generar una mayor producción de caña.

4.4.7. Precio unitario en dólares (CIF) por tonelada de los fertilizantes (abonos) importados

Colombia importó US\$892 millones en fertilizantes en 2021, convirtiéndose en el importador número 26 de fertilizantes en el mundo.

La séptima hipótesis sugiere una relación directa entre el precio unitario de los fertilizantes importados con los precios minoritarios de los cuatro fertilizantes evaluados, ya que el importador le transfiere al cliente final el costo de las importaciones.

4.4.8. Oferta (guerra Rusia)

Rusia es el principal exportador de fertilizantes a nivel mundial, con algo más de 13 millones de toneladas exportadas anualmente. En 2021, Colombia importó de Rusia el 20 % de los fertilizantes.

La octava hipótesis supone un incremento del precio nacional de los fertilizantes luego del estallido de la guerra entre Rusia y Ucrania, y las posteriores sanciones y restricciones impuestas

a Rusia y a Bielorrusia, quienes son el primero y el quinto mayores exportadores de fertilizantes a nivel mundial.

4.5. Técnica analítica

Este estudio utilizó varios modelos de regresión, con el fin de identificar los factores económicos que explican las variaciones en los precios de los fertilizantes en el sector de la caña de azúcar.

El primer método que se utilizó fue la regresión lineal múltiple, una técnica estadística que permite modelar la relación entre una variable dependiente y dos o más variables independientes.

El objetivo principal de la regresión lineal múltiple es encontrar una ecuación lineal que describa la relación entre las variables independientes y la variable dependiente. En este tipo de modelos, es importante testear la heterocedasticidad, la multicolinealidad y la especificación.

Para solucionar inconvenientes que pudiera presentar el modelo de regresión lineal múltiple, con el fin de conocer con mayor precisión cuáles variables son las más relevantes, se han propuesto modelos alternativos, tales como el modelo de regresión Ridge, el modelo de regresión Lasso, un modelo de bosque aleatorio y un modelo de panel de datos, que se describen a continuación.

El modelo de regresión Ridge es una técnica de regularización que agrega una penalización a la función de costo del modelo de regresión lineal. La penalización se basa en la suma de los cuadrados de los coeficientes de las variables independientes (ponderadas por un hiperparámetro λ). El objetivo de este modelo es minimizar la función de costo original junto con el término de penalización, lo que tiene el efecto de reducir los coeficientes hacia cero, pero raramente a cero. Una ventaja del modelo Ridge es que permite que todas las características contribuyan al modelo, pero con menos intensidad, cuanto menos importantes sean. Ridge es útil

cuando se sospecha que todas las características son relevantes, pero algunas pueden tener efectos más pequeños que otras.

El modelo de regresión Lasso también es una técnica de regularización que le agrega una penalización a la función de costo del modelo de regresión lineal; sin embargo, en lugar de usar la suma de los cuadrados de los coeficientes, Lasso utiliza la suma de los valores absolutos de los coeficientes (ponderados por λ). Este modelo no solo reduce los coeficientes hacia cero, sino que también puede llevar algunos coeficientes a ser exactamente iguales a cero. Esto tiene el efecto de hacer una selección automática de características, al eliminar algunas variables independientes del modelo. La utilidad de este modelo radica en que, cuando se sospecha que solo un subconjunto de características es realmente relevante, las demás pueden eliminarse.

Con el fin de comprender qué variables son más influyentes en las predicciones del modelo, se utilizó un modelo de bosque aleatorio. Este modelo es un algoritmo de aprendizaje automático, que se utiliza tanto para problemas de clasificación como para problemas de regresión. Es una técnica de conjunto o *ensamble*, que combina múltiples árboles de decisión para tomar decisiones más precisas y robustas.

Por último, se utilizó un modelo de panel de datos, que es apropiado para datos que tienen una estructura de panel o serie temporal, como es el caso de esta investigación. Este modelo es útil cuando se quiere analizar cómo cambian las variables a lo largo del tiempo y cómo estas variaciones están relacionadas tanto dentro de cada variable como entre variables.

5. RESULTADOS

En la presente investigación, se hizo una estimación mediante los modelos de regresión: lineal múltiple, Ridge, Lasso, bosque aleatorio y panel de datos, que incluyó información de precios minoritario de los fertilizantes DAP, KCL, urea y SAM para el Valle del Cauca, en el período comprendido entre 2015 y 2022, con el fin de validar si las variables explicativas propuestas determinan o no el incremento en el precio de dichos fertilizantes.

5.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

En el tamaño de la muestra, el número de observaciones varía entre 85 y 96 para las diferentes variables, indicando que hay cierta variabilidad en la disponibilidad de datos para cada medida, principalmente en el precio de los fertilizantes (tabla 2).

Tabla 2

Estadística descriptiva

	DAP	KCL	UREA	SAM	WTI	TRM
count	85	93	94	88	96	96
mean	112.944,86	93.210,32	95.228,21	58.534,74	58,48	3.353,75
std	59.305,75	61.307,09	64.134,14	36.116,85	17,94	534,51
mín	76.500	52.720	52.367	33.600	18,84	2.388,06
25 %	86.133,33	60.686	60.066,75	40.323,75	47,20	2.936,98
50 %	94.600	70.529	68.890	44.862,5	54,12	3.222,84
75 %	100.100	81.675	82.185,33	53.043,75	66,98	3.750,28
máx	314.500	287.500	299.000	167.900	114,67	4.819,42

	T_INT	INF	WAR	IMP_TON	P_TON	CANA_TON
count	96	96	96	96	96	96
mean	0,048307	0,004435	0,11	172.076,80	412,39	1.979.025
std	0,021826	0,004091	0,32	49.412,36	193,04	384.207,70
mín	0,017500	-0,003800	0,00	40.913	245,64	138.148,10
25 %	0,040000	0,001475	0,00	137.873,25	301,56	1.832.233
50 %	0,043750	0,004250	0,00	169.391	336,86	2.041.127
75 %	0,060000	0,006400	0,00	202.355,75	403,54	2.256.208
máx	0,120000	0,016700	1,00	309.716	1.049,98	2.493.511

La variable DAP tiene la media más alta, seguida por la importación de fertilizantes (abonos) en toneladas (IMP_TON) y la producción de toneladas de caña de azúcar local (CANA_TON), lo que sugiere que estos pueden ser valores importantes o influyentes en el conjunto de datos.

Las desviaciones estándar son relativamente altas para algunas variables tales como DAP, KCL y UREA, que indican una variabilidad significativa en estos datos y evidencian las fluctuaciones en los precios de los fertilizantes en el período estudiado.

Los valores mínimos y máximos muestran la gama en la que se distribuyen los datos; además, los percentiles (25 %, 50 %, 75 %) indican cómo se distribuyen los datos dentro del conjunto. Las variaciones en estos percentiles sugieren que las distribuciones no son uniformes.

Algunas variables, tales como WTI, pueden contener valores atípicos debido a su alta desviación estándar y a la diferencia significativa entre el valor máximo (US\$114,67) y mínimo (US\$18,84).

En la tabla 2, no se ha evaluado la relación entre las variables. Por lo tanto, es pertinente desarrollar un análisis de correlación y explorar visualmente posibles relaciones para obtener una comprensión más completa.

5.2. MATRIZ DE CORRELACIÓN

En la tabla 3, se muestra la matriz de correlación, en la que se aprecia la asociación lineal entre todas las variables.

Tabla 3

Matriz de correlación

	DAP	KCL	UREA	SAM	WTI	TRM	T_INT	INF	WAR	IMP_TON	P_TON	CANA_TON
DAP	1.000000	0.990000	0.990000	0.980000	0.740000	0.790000	0.530000	0.460000	0.980000	-0.300000	0.950000	-0.100000
KCL	0.990000	1.000000	0.970000	0.960000	0.710000	0.820000	0.470000	0.440000	0.900000	-0.270000	0.920000	-0.060000
UREA	0.990000	0.970000	1.000000	0.990000	0.780000	0.790000	0.360000	0.480000	0.910000	-0.240000	0.960000	-0.060000
SAM	0.980000	0.960000	0.990000	1.000000	0.780000	0.780000	0.400000	0.420000	0.960000	-0.230000	0.950000	-0.140000
WTI	0.740000	0.710000	0.780000	0.780000	1.000000	0.420000	0.200000	0.370000	0.720000	-0.120000	0.820000	-0.040000
TRM	0.790000	0.820000	0.790000	0.780000	0.420000	1.000000	0.100000	0.260000	0.640000	-0.220000	0.660000	-0.080000
T_INT	0.530000	0.470000	0.360000	0.400000	0.200000	0.100000	1.000000	0.310000	0.490000	-0.180000	0.330000	0.020000
INF	0.460000	0.440000	0.480000	0.420000	0.370000	0.260000	0.310000	1.000000	0.470000	-0.160000	0.520000	-0.140000
WAR	0.980000	0.900000	0.910000	0.960000	0.720000	0.640000	0.490000	0.470000	1.000000	-0.230000	0.860000	-0.080000
IMP_TON	-0.300000	-0.270000	-0.240000	-0.230000	-0.120000	-0.220000	-0.180000	-0.160000	-0.230000	1.000000	-0.260000	-0.010000
P_TON	0.950000	0.920000	0.960000	0.950000	0.820000	0.660000	0.330000	0.520000	0.860000	-0.260000	1.000000	-0.070000
CANA_TON	-0.100000	-0.060000	-0.060000	-0.140000	-0.040000	-0.080000	0.020000	-0.140000	-0.080000	-0.010000	-0.070000	1.000000

Nota. Las tablas 3 a la 21 fueron elaboradas en inglés, por lo cual los decimales se indican con punto (.), y no con coma (,) como en español.

En la tabla anterior, se puede observar una alta correlación entre las variables dependientes: precio de DAP, KCL, SAM y UREA, y las variables independientes: precio del petróleo WTI, TRM, guerra Rusia-Ucrania y precio por tonelada de fertilizantes (abonos) importados. Esto demuestra que el resultado matemático hasta el momento es coherente con el postulado teórico; de igual

manera, se presenta una alta correlación entre estas cuatro variables dependientes. Por último, con respecto a las demás variables independientes no hubo evidencia de correlación alta con las variables dependientes.

A partir de esta alta correlación entre los precios de los fertilizantes, se elaboró una matriz de correlación de panel (tabla 4), con una variable de precio único para las cuatro variables dependientes.

Tabla 4

Matriz de correlación de panel

	PRICE	WTI	TRM	T_INT	INF	WAR	IMP_TON	P_TON	CANA_TON
PRICE	1.000000	0.690000	0.740000	0.410000	0.430000	0.870000	-0.250000	0.870000	-0.080000
WTI	0.690000	1.000000	0.390000	0.270000	0.350000	0.750000	-0.130000	0.820000	-0.070000
TRM	0.740000	0.390000	1.000000	0.170000	0.240000	0.680000	-0.240000	0.650000	-0.110000
T_INT	0.410000	0.270000	0.170000	1.000000	0.350000	0.510000	-0.200000	0.380000	0.030000
INF	0.430000	0.350000	0.240000	0.350000	1.000000	0.470000	-0.190000	0.500000	-0.140000
WAR	0.870000	0.750000	0.680000	0.510000	0.470000	1.000000	-0.250000	0.900000	-0.090000
IMP_TON	-0.250000	-0.130000	-0.240000	-0.200000	-0.190000	-0.250000	1.000000	-0.290000	-0.020000
P_TON	0.870000	0.820000	0.650000	0.380000	0.500000	0.900000	-0.290000	1.000000	-0.100000
CANA_TON	-0.080000	-0.070000	-0.110000	0.030000	-0.140000	-0.090000	-0.020000	-0.100000	1.000000

La tabla anterior evidencia nuevamente la alta correlación entre la variable precio y las variables independientes WTI, TRM, guerra y precio por tonelada de fertilizantes (abonos) importados.

5.3. MODELO REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Inicialmente, la regresión lineal múltiple se elaboró con todas las variables independientes, y el resultado arrojó problemas de multicolinealidad, lo cual puede dificultar la interpretación de los coeficientes individuales y su significancia. Además, hay evidencia de heterocedasticidad en los residuos de los modelos, lo cual puede afectar las inferencias y la eficiencia de los estimadores.

Por lo anterior, se decidió elaborar nuevamente la regresión lineal múltiple utilizando solo las variables independientes con mayor significancia estadística: precio del petróleo WTI, tasa representativa del mercado (TRM), tasa de interés (T_INT), guerra Rusia – Ucrania (WAR) y precio por tonelada de fertilizantes (abonos) importados (P_TON). Los resultados individuales de la segunda prueba para la variable DAP se muestran a continuación en la tabla 5.

Tabla 5

Regresión con modelo lineal múltiple. Variable DAP

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	DAP		R-squared:	0.985		
Model:	OLS		Adj. R-squared:	0.984		
Method:	Least Squares		F-statistic:	1056.		
Date:	Sat, 30 Sep 2023		Prob (F-statistic):	8.81e-71		
Time:	15:39:02		Log-Likelihood:	-875.08		
No. Observations:	85		AIC:	1762.		
Df Residuals:	79		BIC:	1777.		
Df Model:	5					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
WTI	136.0132	96.071	1.416	0.161	-55.211	327.237
TRM	30.6075	3.108	9.848	0.000	24.421	36.794
T_INT	3.292e+05	5.48e+04	6.008	0.000	2.2e+05	4.38e+05
WAR	6.201e+04	1.43e+04	4.350	0.000	3.36e+04	9.04e+04
P_TON	113.9683	17.378	6.558	0.000	79.378	148.559
const	-6.385e+04	1.73e+04	-3.696	0.000	-9.82e+04	-2.95e+04
Omnibus:	25.352		Durbin-Watson:	1.342		
Prob(Omnibus):	0.000		Jarque-Bera (JB):	69.335		
Skew:	0.935		Prob(JB):	8.79e-16		
Kurtosis:	7.010		Cond. No.	2.37e+05		

Notes:

[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.

[2] The condition number is large, 2.37e+05. This might indicate that there are strong multicollinearity or other numerical problems.

El modelo en su conjunto es significativo (F-statistic), pero se debe tener precaución debido a la posible multicolinealidad (Cond. No.).

La variable precio del petróleo (WTI) no es estadísticamente significativa según el p-valor de 0,161. por otro lado, las variables tasa representativa de mercado (TRM), tasa de interés (T_INT), guerra (WAR) y precio por tonelada de fertilizantes (abonos) importados (P_TON) son todas

estadísticamente significativas. La variable constante también es significativa y tiene un impacto negativo en la variable dependiente.

Los estadísticos adicionales sugieren que los residuos no siguen una distribución normal y que hay autocorrelación positiva y posible multicolinealidad.

En resumen, el modelo parece explicar bien la variabilidad en los precios del fertilizante DAP, pero hay indicios de problemas, tales como la falta de normalidad en los residuos y, posiblemente, multicolinealidad. Se recomienda realizar análisis adicionales y ajustes si es necesario.

Los resultados de la regresión con modelo lineal múltiple para la variable KCL se muestran a continuación (tabla 6).

Tabla 6

Regresión con modelo lineal múltiple. Variable KCL

OLS Regression Results						
=====						
Dep. Variable:	KCL	R-squared:	0.979			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.978			
Method:	Least Squares	F-statistic:	744.7			
Date:	Sat, 30 Sep 2023	Prob (F-statistic):	6.64e-65			
Time:	15:39:02	Log-Likelihood:	-893.08			
No. Observations:	85	AIC:	1798.			
Df Residuals:	79	BIC:	1813.			
Df Model:	5					
Covariance Type:	nonrobust					
=====						
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]

WTI	121.3520	118.720	1.022	0.310	-114.954	357.658
TRM	43.3252	3.841	11.281	0.000	35.680	50.970
T_INT	3.744e+05	6.77e+04	5.529	0.000	2.4e+05	5.09e+05
WAR	5.009e+04	1.76e+04	2.843	0.006	1.5e+04	8.52e+04
P_TON	114.9189	21.475	5.351	0.000	72.173	157.664
const	-1.294e+05	2.13e+04	-6.062	0.000	-1.72e+05	-8.69e+04
=====						
Omnibus:	15.504	Durbin-Watson:	0.906			
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	26.850			
Skew:	-0.692	Prob(JB):	1.48e-06			
Kurtosis:	5.380	Cond. No.	2.37e+05			
=====						

Notes:

- [1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.
 [2] The condition number is large, 2.37e+05. This might indicate that there are strong multicollinearity or other numerical problems.

El modelo en su conjunto es significativo (F-statistic), pero nuevamente se debe tener precaución debido a la posible multicolinealidad (Cond. No.).

La variable precio del petróleo (WTI) no es estadísticamente significativa según el p-valor de 0.310. Las variables tasa representativa de mercado (TRM), tasa de interés (T_INT), guerra (WAR) y precio por tonelada de fertilizantes (abonos) importados (P_TON) son todas estadísticamente significativas. La variable constante también es significativa y tiene un impacto negativo en la variable dependiente.

Los estadísticos adicionales sugieren que los residuos no siguen una distribución normal y que hay autocorrelación positiva y posible multicolinealidad.

En resumen, aunque el modelo tiene un buen ajuste global, se deben considerar las limitaciones asociadas a la falta de significancia de la variable WTI y los posibles problemas de multicolinealidad. Se recomienda elaborar análisis adicionales y ajustes si es necesario.

Los resultados de la regresión con modelo lineal múltiple para la variable UREA se muestran a continuación (tabla 7).

Tabla 7*Regresión con modelo lineal múltiple. Variable UREA*

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	UREA		R-squared:	0.981		
Model:	OLS		Adj. R-squared:	0.980		
Method:	Least Squares		F-statistic:	821.5		
Date:	Sat, 30 Sep 2023		Prob (F-statistic):	1.49e-66		
Time:	15:39:03		Log-Likelihood:	-891.36		
No. Observations:	85		AIC:	1795.		
Df Residuals:	79		BIC:	1809.		
Df Model:	5					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
WTI	198.9327	116.345	1.710	0.091	-32.647	430.512
TRM	30.2403	3.764	8.034	0.000	22.748	37.732
T_INT	-6365.3392	6.64e+04	-0.096	0.924	-1.38e+05	1.26e+05
WAR	6.38e+04	1.73e+04	3.695	0.000	2.94e+04	9.82e+04
P_TON	148.7123	21.046	7.066	0.000	106.822	190.603
const	-8.62e+04	2.09e+04	-4.120	0.000	-1.28e+05	-4.46e+04
Omnibus:	10.508		Durbin-Watson:	1.284		
Prob(Omnibus):	0.005		Jarque-Bera (JB):	20.931		
Skew:	0.346		Prob(JB):	2.85e-05		
Kurtosis:	5.330		Cond. No.	2.37e+05		

Notes:

- [1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.
 [2] The condition number is large, 2.37e+05. This might indicate that there are strong multicollinearity or other numerical problems.

El modelo en su conjunto es significativo (F-statistic), pero se debe tener precaución debido a la posible multicolinealidad (Cond. No.).

Las variables precio del petróleo (WTI) y tasa de interés (T_INT) no son estadísticamente significativas según los p-valores. Las variables tasa representativa de mercado (TRM), guerra (WAR) y precio por tonelada de fertilizantes (abonos) importados (P_TON) son estadísticamente significativas. La variable constante también es significativa y tiene un impacto negativo en la variable dependiente.

Los estadísticos adicionales sugieren que los residuos no siguen una distribución normal y que hay autocorrelación positiva y posible multicolinealidad.

Al igual que en los casos anteriores, se recomienda desarrollar análisis adicionales, considerar transformaciones en las variables si es necesario y abordar la posible multicolinealidad.

Los resultados de la regresión con modelo lineal múltiple para la variable SAM se muestran a continuación: (tabla 8).

Tabla 8

Regresión con modelo lineal múltiple. Variable SAM

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	SAM		R-squared:	0.985		
Model:	OLS		Adj. R-squared:	0.985		
Method:	Least Squares		F-statistic:	1069.		
Date:	Sat, 30 Sep 2023		Prob (F-statistic):	5.37e-71		
Time:	15:39:04		Log-Likelihood:	-833.16		
No. Observations:	85		AIC:	1678.		
Df Residuals:	79		BIC:	1693.		
Df Model:	5					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
WTI	123.4626	58.664	2.105	0.039	6.695	240.230
TRM	11.2463	1.898	5.926	0.000	7.469	15.024
T_INT	-1.394e+05	3.35e+04	-4.165	0.000	-2.06e+05	-7.28e+04
WAR	8.247e+04	8705.140	9.473	0.000	6.51e+04	9.98e+04
P_TON	25.3725	10.612	2.391	0.019	4.250	46.495
const	1329.0710	1.05e+04	0.126	0.900	-1.97e+04	2.23e+04
Omnibus:	8.208		Durbin-Watson:	0.450		
Prob(Omnibus):	0.017		Jarque-Bera (JB):	9.192		
Skew:	-0.506		Prob(JB):	0.0101		
Kurtosis:	4.253		Cond. No.	2.37e+05		

Notes:

[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.

[2] The condition number is large, 2.37e+05. This might indicate that there are strong multicollinearity or other numerical problems.

El modelo en su conjunto es significativo (F-statistic), y todas las variables independientes son significativas, excepto la constante. La variable constante no es estadísticamente significativa según el p-valor.

Los estadísticos adicionales sugieren que los residuos no siguen una distribución normal y que hay autocorrelación positiva y posible multicolinealidad.

En resumen, el modelo parece tener un buen ajuste global, pero es necesario considerar la falta de significancia de la constante y abordar los problemas de normalidad en los residuos y la posible multicolinealidad. Se recomienda desarrollar análisis adicionales y ajustes si es necesario.

5.4. MODELO REGRESIÓN RIDGE

El modelo Ridge permite que todas las variables contribuyan al modelo, pero, cuanto menos importantes sean, con menos intensidad. En este modelo de regresión se agrega una penalización a los coeficientes, lo que ayuda a estabilizar el modelo al reducir la variabilidad causada por pequeñas fluctuaciones en los datos. Igualmente, es efectivo para manejar la multicolinealidad, ya que esta regularización ayuda a reducir la influencia de variables altamente correlacionadas sin eliminarlas por completo.

Los resultados de la regresión con modelo Ridge para la variable DAP se muestran a continuación (tabla 9).

Tabla 9

Regresión con modelo Ridge. Variable DAP

```

Modelo de Regresión para DAP:
  Variable   Coeficiente
4      WAR   34933.082372
2     T_INT  11804.617916
3      INF    383.923399
6     P_TON   173.984112
0      WTI   120.220342
1      TRM    32.814761
5     IMP_TON  0.014456
7   CANA_TON  0.004122
Intercept: -85127.02616166855
R-squared: 0.9699231492532575

```

El modelo de regresión para DAP revela una alta capacidad explicativa (R-cuadrado de 0,9699), lo que significa que el 96,99 % de la variabilidad en la variable dependiente (DAP) puede ser

explicada por las variables independientes incluidas en el modelo. La variable Guerra Rusia-Ucrania (WAR) tiene el coeficiente más alto, indicando que tiene la mayor influencia positiva en la variable dependiente DAP. Por otro lado, las variables importación de fertilizantes (abonos) en toneladas (IMP_TON) y producción de toneladas de caña de azúcar local (CANA_TON) tienen un coeficiente poco significativo.

Los resultados de la regresión con modelo Ridge para la variable KCL se muestran a continuación (tabla 10).

Tabla 10

Regresión con modelo Ridge. Variable KCL

```

Modelo de Regresión para KCL:
  Variable  Coeficiente
4     WAR   37090.468217
2     T_INT 15564.617799
3     INF   -249.576673
6     P_TON  165.354541
0     WTI   -42.970514
1     TRM    40.516239
5     IMP_TON -0.013900
7     CANA_TON 0.006244
Intercept: -122263.46247531315
R-squared: 0.952842394884497

```

El modelo para KCL también muestra una buena capacidad explicativa (R-cuadrado de 0,9528). En este caso, la variable guerra Rusia-Ucrania (WAR) nuevamente tiene el coeficiente más alto, indicando una fuerte influencia positiva en la variable dependiente KCL. Las variables inflación (INF) y precio del petróleo (WTI) tienen un coeficiente negativo, lo que sugiere una relación inversa con KCL.

Los resultados de la regresión con modelo Ridge para la variable UREA se muestran a continuación (tabla 11).

Tabla 11

Regresión con modelo Ridge. Variable UREA

Modelo de Regresión para UREA:

	Variable	Coefficiente
4	WAR	33657.792494
2	T_INT	3445.862381
0	WTI	214.141518
6	P_TON	192.736461
3	INF	144.072348
1	TRM	33.329095
5	IMP_TON	0.024783
7	CANA_TON	0.004505

Intercept: -125159.12958134426

R-squared: 0.9807283895996823

El modelo de regresión para UREA tiene una alta capacidad explicativa (R-cuadrado de 0,9807).

La guerra Rusia-Ucrania (WAR) tiene el coeficiente más alto, indicando la mayor influencia positiva en la variable dependiente UREA. Nuevamente las variables importación de fertilizantes (abonos) en toneladas (IMP_TON) y producción de toneladas de caña de azúcar local (CANA_TON) presentan un coeficiente poco significativo.

Los resultados de la regresión con modelo Ridge para la variable SAM se muestran a continuación (tabla 12).

Tabla 12*Regresión con modelo Ridge. Variable SAM*

Modelo de Regresión para SAM:

	Variable	Coefficiente
4	WAR	24248.176493
2	T_INT	1027.385975
0	WTI	274.793339
6	P_TON	88.507715
3	INF	60.247366
1	TRM	20.242062
5	IMP_TON	0.040156
7	CANA_TON	-0.001158

Intercept: -66571.4727059103

R-squared: 0.9787972853195318

El modelo para SAM también tiene una capacidad explicativa alta (R-cuadrado de 0,9787). La guerra Rusia-Ucrania (WAR) sigue siendo la variable con el coeficiente más alto, indicando la mayor influencia positiva en SAM.

La presencia del conflicto entre Rusia y Ucrania, representada por la variable WAR, emerge como un factor consistente y altamente influyente en el aumento de precios de todos los fertilizantes estudiados. Además, las condiciones económicas, medidas a través de la tasa de interés (T_INT), el precio del petróleo (WTI) y la inflación (INF), también desempeñan un papel importante, aunque en menor medida, en la determinación de los precios.

5.5. MODELO REGRESIÓN LASSO

El modelo Lasso hace una selección automática de variables al penalizar algunos coeficientes y reducirlos a cero. Esto facilita la identificación de las variables más relevantes y elimina aquellas que tienen un impacto mínimo en los precios de los fertilizantes en el sector de la caña de azúcar. Además, al reducir algunos coeficientes a cero, aborda la multicolinealidad al seleccionar una variable representativa de un conjunto altamente correlacionado.

Los resultados de la regresión con modelo Lasso para la variable DAP se muestran a continuación (tabla 13).

Tabla 13

Regresión con modelo Lasso. Variable DAP

```

Modelo de Regresión para DAP:
Variable      Coeficiente
2      T_INT  339703.603091
4      WAR   57650.498845
3      INF  -32208.828155
0      WTI   129.622865
6      P_TON  122.377312
1      TRM   31.332909
5      IMP_TON  0.016363
7      CANA_TON  0.003438
Intercept: -78666.39517850649
R-squared: 0.9857785490286741

```

El modelo explica aproximadamente el 98,57 % de la variabilidad en DAP. Las variables significativas incluyen tasa de interés (T_INT), guerra (WAR) e inflación (INF). Siendo así, un aumento en la tasa de interés se asocia con un incremento de 339.703 en la variable DAP. De igual manera, la variable Guerra está positivamente relacionada con DAP y se asocia con un incremento de 57.650 en esta. Por otro lado, un aumento en el índice de inflación se asocia con una disminución de 32.208 en la variable DAP.

Los resultados de la regresión con modelo Lasso para la variable KCL se muestran a continuación (tabla 14).

Tabla 14*Regresión con modelo Lasso. Variable KCL*

```

Modelo de Regresión para KCL:
Variable      Coeficiente
2      T_INT  377235.427144
3      INF   -319720.551122
4      WAR    52419.324358
6      P_TON   118.019860
0      WTI     91.984147
1      TRM     42.462827
5      IMP_TON -0.003191
7      CANA_TON 0.001767
Intercept: -128171.90625013364
R-squared: 0.9797727034105729

```

El modelo explica aproximadamente el 97,79 % de la variabilidad en KCL. Las variables significativas incluyen tasa de interés (T_INT), inflación (INF) y guerra (WAR). Siendo así, un aumento en la tasa de interés se asocia con un incremento de 377.235 en la variable KCL. De igual manera, la variable de guerra está positivamente relacionada con KCL y se asocia con un incremento de 52.419 en esta. Por otro lado, un aumento en el índice de inflación se asocia con una disminución de 319.720 en la variable KCL.

Los resultados de la regresión con modelo Lasso para la variable UREA se muestran a continuación (tabla 15).

Tabla 15*Regresión con modelo Lasso. Variable UREA*

```

Modelo de Regresión para UREA:
Variable      Coeficiente
3      INF  -85026.766688
4      WAR   59675.072180
2      T_INT  5690.547972
0      WTI   188.474881
6      P_TON  157.663161
1      TRM    30.847053
5      IMP_TON 0.016224
7      CANA_TON 0.003326
Intercept: -100244.61457957198
R-squared: 0.9816182500857776

```

El modelo explica aproximadamente el 98,16 % de la variabilidad en UREA. Las variables significativas incluyen inflación (INF), guerra (WAR) y tasa de interés (T_INT). Siendo así, un aumento en el índice de inflación se asocia con una disminución de 85.026 en la variable UREA. Por el contrario, la variable guerra está positivamente relacionada con UREA y se asocia con un incremento de 59.675 en esta. De igual manera, un aumento en la tasa de interés se asocia con un incremento de 5.690 en la variable UREA.

Los resultados de la regresión con modelo Lasso para la variable SAM se muestran a continuación (tabla 16).

Tabla 16

Regresión con modelo Lasso. Variable SAM

Modelo de Regresión para SAM:

	Variable	Coefficiente
2	T_INT	-112749.027143
4	WAR	74898.707619
0	WTI	131.711698
6	P_TON	35.201049
1	TRM	12.535089
5	IMP_TON	0.023480
7	CANA_TON	-0.001862
3	INF	-0.000000
Intercept:		-8000.628552294984
R-squared:		0.9866507308959007

El modelo explica aproximadamente el 98,66 % de la variabilidad en SAM. Las variables significativas incluyen tasa de interés (T_INT), guerra (WAR) y precio del petróleo (WTI). Siendo así, un aumento en la tasa de interés se asocia con una disminución de 112.749 en la variable SAM. Por otro lado, la variable de guerra está positivamente relacionada con SAM y se asocia con un incremento de 74.898 en esta. De igual manera, un aumento en el precio del petróleo (WTI) se asocia con un incremento de 131 en la variable SAM.

Al emplear el modelo Lasso en el análisis de los precios de los fertilizantes, se observa una clara identificación de las variables más influyentes en la formación de precios. Este enfoque penaliza los coeficientes de las variables menos relevantes, lo que contribuye a la simplicidad del modelo y a una mejor capacidad para lidiar con la multicolinealidad. Los modelos individuales para cada fertilizante han mostrado altos niveles de capacidad predictiva, con R-cuadrados que superan el 97 %. Las variables comunes como la tasa de interés, la inflación, la guerra Rusia-Ucrania y los precios del petróleo WTI han emergido como determinantes clave en la variación de precios de los fertilizantes DAP, KCL, UREA y SAM.

5.6. MODELO BOSQUE ALEATORIO

El modelo de bosques aleatorios es capaz de capturar relaciones no lineales y complejas entre las variables predictoras y la variable objetivo. Esto es especialmente útil en contextos económicos donde las relaciones pueden ser no lineales o no seguir un patrón lineal simple. Este modelo proporciona una medida de la importancia de cada variable en la predicción, lo que facilita la identificación de los factores más influyentes en la variación de los precios de fertilizantes en el sector de la caña de azúcar.

Los resultados de la regresión con modelo Bosque aleatorio para la variable DAP se muestran a continuación (tabla 17).

Tabla 17

Regresión con modelo de Bosque aleatorio. Variable DAP

Modelo de Regresión para DAP:

	Variable	Importancia
0	WTI	0.415370
6	P_TON	0.290799
4	WAR	0.251376
1	TRM	0.025204
2	T_INT	0.006312
7	CANA_TON	0.005695
5	IMP_TON	0.004097
3	INF	0.001146

En el caso del modelo de regresión para DAP, se observa que la variable WTI tiene la mayor importancia relativa, con un valor de 0,415, seguida por P_TON, con un valor de 0,291, y WAR, con un valor de 0,251. Estos resultados indican que las variaciones en el precio del petróleo (WTI), el precio por tonelada de fertilizantes importados (P_TON) y la guerra (WAR) son los factores más influyentes en la variabilidad del precio del DAP, mientras que las otras variables tienen una influencia relativamente menor.

Los resultados de la regresión con modelo Boque aleatorio para la variable KCL se muestran a continuación (tabla 18).

Tabla 18

Regresión con modelo de Bosque aleatorio. Variable KCL

Modelo de Regresión para KCL:

	Variable	Importancia
4	WAR	0.419800
0	WTI	0.297282
6	P_TON	0.225940
1	TRM	0.034911
2	T_INT	0.009722
5	IMP_TON	0.008616
3	INF	0.002125
7	CANA_TON	0.001604

En el modelo de regresión para KCL, se destaca que la variable WAR tiene la mayor importancia, con un valor de 0,420, seguida por WTI, con un valor de 0,297, y P_TON, con un valor de 0,226. Esto sugiere que la guerra (WAR), el precio del petróleo (WTI) y el precio por tonelada de fertilizantes importados (P_TON) son los principales determinantes de las fluctuaciones en el precio del KCL.

Los resultados de la regresión con modelo Boque aleatorio para la variable UREA se muestran a continuación (tabla 19).

Tabla 19

Regresión con modelo de Bosque aleatorio. Variable UREA

Modelo de Regresión para UREA:		
	Variable	Importancia
0	WTI	0.467981
4	WAR	0.266514
6	P_TON	0.216766
1	TRM	0.037329
2	T_INT	0.005477
7	CANA_TON	0.002620
3	INF	0.002314
5	IMP_TON	0.000999

Para el modelo de regresión de UREA, la variable más influyente es WTI, con una importancia de 0,468, seguida de WAR, con 0,267, y P_TON, con 0,217. Esto indica que el precio del petróleo (WTI), la guerra (WAR) y el precio por tonelada de fertilizantes importados (P_TON) son los principales impulsores de las variaciones en el precio de la UREA.

Los resultados de la regresión con modelo Boque aleatorio para la variable SAM se muestran a continuación (tabla 20).

Tabla 20

Regresión con modelo de Bosque aleatorio. Variable SAM

Modelo de Regresión para SAM:

	Variable	Importancia
4	WAR	0.366115
6	P_TON	0.342558
0	WTI	0.223497
1	TRM	0.058880
2	T_INT	0.005517
3	INF	0.001391
7	CANA_TON	0.001143
5	IMP_TON	0.000899

Por último, en el modelo de regresión para SAM, se encuentra que WAR tiene la mayor importancia, con un valor de 0,366, seguida de P_TON, con 0,342, y WTI, con 0,223. Esto sugiere que la guerra (WAR), el precio por tonelada de fertilizantes importados (P_TON) y el precio del petróleo (WTI) son los factores más determinantes en las variaciones del precio del SAM.

El modelo de regresión de bosques aleatorios proporciona una visión más detallada de las relaciones entre las variables, identificando las variables más influyentes en cada caso. El precio del petróleo (WTI), el precio por tonelada de fertilizantes importados (P_TON) y la guerra Rusia-Ucrania (WAR) se destacan como las variables más influyentes en la variación de los precios de los fertilizantes estudiados.

5.7. MODELO PANEL DE DATOS

El modelo de regresión de panel de datos es especialmente adecuado para conjuntos de datos que incluyen observaciones temporales. En el estudio de precios de fertilizantes, donde los datos pueden variar a lo largo del tiempo, este modelo permite capturar las tendencias temporales.

Los resultados de la regresión con modelo de panel de datos se muestran a continuación (tabla 21).

Tabla 21

Regresión con modelo de panel de datos

PanelOLS Estimation Summary						
=====						
Dep. Variable:	PRICE	R-squared:		0.9373		
Estimator:	PanelOLS	R-squared (Between):		-0.5417		
No. Observations:	360	R-squared (Within):		0.9373		
Date:	Thu, Sep 28 2023	R-squared (Overall):		-0.1442		
Time:	15:17:11	Log-likelihood		-3949.6		
Cov. Estimator:	Unadjusted					
		F-statistic:		650.31		
Entities:	4	P-value		0.0000		
Avg Obs:	90.000	Distribution:		F(8,348)		
Min Obs:	85.000					
Max Obs:	94.000	F-statistic (robust):		650.31		
		P-value		0.0000		
Time periods:	94	Distribution:		F(8,348)		
Avg Obs:	3.8298					
Min Obs:	1.0000					
Max Obs:	4.0000					
Parameter Estimates						
=====						
	Parameter	Std. Err.	T-stat	P-value	Lower CI	Upper CI

WTI	187.39	83.625	2.2409	0.0257	22.919	351.87
TRM	33.126	2.2646	14.628	0.0000	28.672	37.580
T_INT	2.276e+05	4.51e+04	5.0465	0.0000	1.389e+05	3.163e+05
INF	-5.455e+04	2.329e+05	-0.2343	0.8149	-5.125e+05	4.034e+05
WAR	3.471e+04	6651.5	5.2190	0.0000	2.163e+04	4.78e+04
IMP_TON	0.0273	0.0160	1.7059	0.0889	-0.0042	0.0587
P_TON	139.20	11.437	12.171	0.0000	116.71	161.70
CANA_TON	0.0031	0.0021	1.4569	0.1460	-0.0011	0.0073
=====						

F-test for Poolability: 222.46

P-value: 0.0000

Distribution: F(3,348)

Included effects: Entity

Los resultados de la regresión de panel de datos sugieren que la variable dependiente PRICE está altamente explicada por las variables independientes incluidas en el modelo. El coeficiente de

determinación (R-squared) es alto (0,9373), indicando que aproximadamente el 93,73 % de la variabilidad en la variable PRICE puede explicarse por las variables independientes.

Las variables más determinantes en la variación del precio (PRICE) son el tipo de cambio (TRM), la tasa de interés (T_INT), la variable relacionada con la guerra (WAR) y el precio del petróleo (WTI). El tipo de cambio exhibe el mayor impacto proporcional, con un coeficiente de 33.126, seguido de cerca por la tasa de interés, cuyo coeficiente de $2.276e+05$ sugiere un efecto masivo en el precio. La variable guerra (WAR) y las fluctuaciones en el precio del petróleo (WTI) también emergen como factores significativos que influyen en la variabilidad de los precios. Por otro lado, la variable inflación (INF) no parece ser significativa, ya que su p-valor es alto.

5.8. PERTINENCIA DE LOS RESULTADOS

Una vez se definieron las diferentes hipótesis y se efectuaron las pruebas estadísticas que le dan validez al ejercicio cuantitativo, se evaluó la pertinencia de los resultados (tabla 22).

Tabla 22

Comparación de resultados de relaciones entre variables regresoras y predictoras

Variable	Resultado teórico	Matriz de correlación	Beta del modelo
Precio del petróleo (WTI)	Positiva	Positiva	Positiva
Tasa representativa del mercado (TRM)	Positiva	Positiva	Positiva
Tasas de interés (T_INT)	Positiva	Positiva	Positiva
Inflación (INF)	Positiva	Positiva	Positiva

Variable	Resultado teórico	Matriz de correlación	Beta del modelo
Importación de fertilizantes (abonos) en toneladas (IMP_TON)	Negativa	Negativa	
Precio por tonelada de fertilizante importado (P_TON)	Positiva	Positiva	Positiva
Producción de toneladas de caña de azúcar local (CANA_TON)	Negativa	Negativa	
Oferta (guerra Rusia-Ucrania) (WAR)	Positiva	Positiva	Positiva

El análisis del modelo de regresión lineal múltiple revela que el 98 % de la variación en los precios de DAP, KCL, UREA y SAM puede ser explicada por las siguientes variables: precio del petróleo WTI, tasa representativa del mercado, tasa de interés, guerra y precio por tonelada de fertilizantes importados. De estas, tasa representativa del mercado, guerra y precio por tonelada de fertilizantes importados son las únicas variables estadísticamente significativas y exhiben una relación positiva con la variación en los precios de los fertilizantes estudiados. A pesar de que el precio del petróleo (WTI) muestra una relación positiva, no alcanza significancia estadística según este modelo.

Por otro lado, la tasa de interés exhibe una relación positiva y es una variable estadísticamente significativa para la variación en los precios de DAP y KCL; sin embargo, esta variable muestra

una relación negativa con la variación en los precios de UREA y SAM, aunque no es estadísticamente significativa para la evaluación de los precios de estos dos fertilizantes.

El modelo Ridge demuestra una elevada capacidad explicativa, ya que los R cuadrado de los cuatro modelos individuales superan el 95 %. Las variables que mejor explican la variación en los precios de DAP, KCL, UREA y SAM son las siguientes: tasa de interés, precio por tonelada de fertilizantes importados y guerra, todas con una influencia positiva. Inflación y precio del petróleo WTI son variables estadísticamente significativas y presentan una relación positiva con DAP, UREA y SAM, pero muestran una relación negativa con la variación en los precios de KCL.

De manera similar, el modelo Lasso explica aproximadamente el 98 % de la variabilidad en los precios de los fertilizantes evaluados. Las variables estadísticamente significativas incluyen: precio del petróleo WTI, tasa de interés, inflación y precio por tonelada de fertilizantes importados y guerra. El precio del petróleo WTI, precio por tonelada de fertilizantes importados y guerra presentan una relación positiva para los cuatro fertilizantes, mientras que la tasa de interés tiene una relación positiva con la variación en los precios de DAP, KCL y UREA, pero una relación negativa en el caso de SAM. La inflación tiene una relación negativa para los cuatro fertilizantes.

En los resultados del modelo de bosques aleatorios, las variables de mayor importancia relativa en la variación de los precios de los fertilizantes estudiados son precio del petróleo WTI, tasa representativa del mercado, precio por tonelada de fertilizantes importados y guerra, todas con relación positiva.

En el modelo de regresión de panel de datos, el 93 % de la variabilidad en la variable PRICE puede explicarse por las variables independientes. En orden de importancia con respecto al

impacto en la variación de los precios de los fertilizantes evaluados, las variables más influyentes son tasa representativa del mercado, tasa de interés, guerra y precio del petróleo WTI. En cuanto a la inflación, el modelo sugiere que no tiene una relevancia significativa.

Los resultados de los diferentes modelos concordaron con lo planteado en las hipótesis, evidenciando un efecto positivo de las variables precio del petróleo WTI, tasa representativa del mercado, precio por tonelada de fertilizantes importados y guerra en la variación de los precios de los fertilizantes estudiados. Estos comportamientos sugieren una fuerte relación entre el precio del petróleo WTI y los precios de los fertilizantes, dado su papel crucial como materia prima en su fabricación y transporte.

En cuanto a la tasa de cambio, se observa una exposición a las fluctuaciones en el precio del dólar que es especialmente significativa en Colombia, por cuanto la mayoría de los fertilizantes son importados. Los resultados del modelo para el precio por tonelada de fertilizante importado revelan una relación positiva robusta con los precios de los fertilizantes estudiados, indicando que un aumento en el costo de las importaciones impactará directamente en el precio para el agricultor, lo cual es coherente con lo supuesto por la teoría del costo de producción (Ricardo, 1817).

Según los resultados de los modelos, la variable más influyente es *guerra*, donde se subraya la importancia de Rusia y Ucrania en el mercado mundial de fertilizantes. Esta variable requiere una atención especial debido a su significativo impacto en la dinámica del mercado.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Las teorías sobre modelos de formación de precios han sido objeto de numerosos estudios debido a su importancia en la estructura de costos de las empresas. Por esta razón, es importante conocer las variables económicas que puedan impactar sobre los precios de los fertilizantes en el sector de la caña de azúcar, en el Valle del Cauca.

Al hacer la revisión literaria pertinente al estudio, no se hallaron investigaciones que permitieran conocer cuáles son las variables económicas que inciden en la variación de los precios de los fertilizantes en el sector de la caña de azúcar en el Valle del Cauca, por lo que el presente estudio representa una primera aproximación al tema.

La investigación revela una alta correlación entre los precios de los diferentes tipos de fertilizantes estudiados (DAP, KCL, UREA, SAM). Esto sugiere que las variaciones en los precios de un tipo de fertilizante tienden a influir fuertemente en los precios de los demás.

Después de haber aplicado las técnicas analíticas sobre los datos recopilados, los resultados obtenidos indican que la producción de caña de azúcar no tiene un efecto significativo sobre el precio de los fertilizantes estudiados. La investigación revela que las variables económicas y geopolíticas, en lugar de las condiciones específicas de producción, son los principales impulsores de las variaciones en los precios de los fertilizantes.

Los modelos demuestran que las variaciones en el precio del petróleo (WTI), la tasa de cambio (TRM) y la presencia de la guerra entre Rusia y Ucrania tienen impactos significativos en los

precios de los fertilizantes. Estos factores presentan relaciones positivas, indicando que los aumentos en el precio del petróleo, las devaluaciones de la moneda y los conflictos geopolíticos tienden a elevar los precios de los fertilizantes.

El precio por tonelada de fertilizante importado muestra una relación positiva robusta con los precios de los fertilizantes estudiados. Un aumento en el costo de las importaciones tiene un impacto directo en el precio final para los agricultores.

La variable *guerra* se destaca como una de las más influyentes en la variación de precios de los fertilizantes. Esto indica que problemas geopolíticos, especialmente en regiones clave para la producción de fertilizantes, pueden tener un impacto significativo en los costos. Se recomienda considerar estrategias de diversificación de proveedores para mitigar riesgos asociados con conflictos en regiones específicas.

Además, el sector de la caña de azúcar debería implementar estrategias para protegerse contra variaciones en el precio del petróleo y la tasa de cambio. Esto podría incluir la adopción de contratos a largo plazo o el uso de instrumentos financieros para gestionar el riesgo asociado con estas variables.

Dado que el precio por tonelada es una variable crítica, se recomienda que el sector esté atento a las tendencias en los costos de importación y explore oportunidades para optimizar la eficiencia en la cadena de suministro.

Por último, dada la importancia de la tasa representativa del mercado y el precio del petróleo WTI en los modelos, se sugiere que el sector utilice estrategias de cobertura financiera para gestionar riesgos asociados a fluctuaciones en la tasa de cambio y el precio del petróleo.

6.2. RECOMENDACIONES

Para futuros trabajos de investigación se recomienda:

- Utilizar nuevas técnicas analíticas que permitan lograr una mayor explicación de los modelos, a través de la interacción de las variables.
- Se sugiere llevar a cabo investigaciones futuras que exploren factores específicos a nivel local, que puedan tener impacto en los precios de los fertilizantes.
- Profundizar en el análisis de la cadena de suministro de fertilizantes en el sector de la caña de azúcar. Investigar los costos asociados a la producción, transporte y distribución de fertilizantes podría proporcionar *insights* adicionales sobre los determinantes de los precios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abonamos (21 de abril, 2020). ¿Cómo es el mercado de fertilizantes en Colombia? *Departamento técnico Abonamos-Sobiotech*. <https://www.abonamos.com/blog/2020/4/20/fertilizantes-en-colombia>
- Arias Segura, J., y Farro Ortiz, C. (2010). *La variación de precios y su impacto sobre los ingresos agrarios y el acceso a los alimentos en el Valle del Huaura, Perú*. Lima. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/19862>
- Asocaña (s. f.). *Sector Agroindustrial De La Caña*. <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Asocaña (2021). *Informe anual de Asocaña con aspectos generales del Sector Agroindustrial de la Caña de Colombia 2020-2021 y Anexos estadístico*. <https://www.asocana.org/modules/documentos/vistadocumento.aspx?id=17545>
- Asocaña (2023). *Balance azucarero colombiano Asocaña 2000 – 2023 (toneladas)*. <https://www.asocana.org/modules/documentos/5528.aspx>
- Balcombe, K. (2009). The Nature and Determinants of Volatility in Agricultural Prices. An Empirical Study from 1962-2008. *MPRA Paper No. 24819*. https://mpra.ub.uni-muenchen.de/24819/1/MPRA_paper_24819.pdf
- Banco de la República (2 de mayo, 2023). *Tasas de interés de política monetaria*. <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/tasas-interes-politica-monetaria>
- Banco de la República (s. f. b) *Inflación total y meta*. <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/inflacion-total-y-meta>
- Banco de la República (s. f.). *Tasa Representativa del Mercado (TRM – Peso por dólar)*. <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/trm>

Banco de La República (2021). *Tasas de cambio*. Recuperado el 15 de marzo de 2023, de <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/tasas-de-cambio>

Caracol (21 de julio, 2017). *Caña de azúcar, el gran motor de la economía en el Valle del Cauca*. <https://noticias.caracoltv.com/valle/cana-de-azucar-el-gran-motor-de-la-economia-en-el-valle-del-cauca>

Chamberlin, E. H. (1933). *The Theory of Monopolistic Competition*. Cambridge Harvard University Press.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe – Cepal (2023). *Agricultura sigue en vilo ante la escasez de los fertilizantes*. *Portafolio*. <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/sector-de-agricultura-sigue-en-vilo-ante-la-escasez-de-los-fertilizantes-576687>

Cournot, A.-A. (1838). *Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth*. Macmillan. <https://www3.nd.edu/~tgresik/IO/Cournot.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – Dane (s. f. a). *Componente Insumos – Históricos*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/componente-insumos-1/componente-insumos-historicos>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – Dane (s. f. b). *Importaciones – Históricos*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/importaciones/importaciones-historicos>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – Dane (s. f. c). *IPC – Índice de Precios al Consumidor*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-historico>

EFE (23 de febrero, 2023). *El petróleo, la ficha de Colombia tras un año de guerra en Ucrania*. *Portafolio*. <https://www.portafolio.co/internacional/guerra-en-ucrania-las-oportunidades-de-latinoamerica-tras-un-ano-de-conflicto-578935>

- Estrada Rudas, C. (25 de febrero, 2022a). El país importa 42% de fertilizantes para el agro de Rusia y Ucrania. *La República*. <https://www.larepublica.co/especiales/crisis-en-ucrania/el-pais-importa-42-de-fertilizantes-de-rusia-y-ucrania-precios-podrian-incrementarse-3310815>
- Estrada Rudas, C. (15 de noviembre, 2022b). Alza de precios de insumos para el agro llegó a 29,4%, con fertilizantes de líderes. *La República* <https://www.larepublica.co/economia/alza-de-precios-de-insumos-para-el-agro-llego-a-29-4-con-fertilizantes-de-lideres-3487688>
- Fernández Cala, N. (2015). *Análisis de las políticas públicas de regulación de precios en los fertilizantes simples en Colombia* [trabajo de Maestría, Universidad de la Salle]. Repositorio Institucional. https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_agronegocios/13
- Infobae (25 de marzo, 2022). Así está el panorama de los insumos agrícolas en Colombia. <https://www.infobae.com/america/colombia/2022/03/25/asi-esta-el-panorama-de-los-insumos-agricolas-en-colombia/>
- Investing.com (s. f.). *Datos históricos Futuros petróleo crudo WTI*. <https://es.investing.com/commodities/crude-oil-historical-data>
- Landívar Olvera, L. A., y Salazar Arroba, C. A. (2013). *Análisis de la volatilidad de los precios de la urea y su incidencia en la demanda del sector agrícola del Ecuador en el período 1990-2012* [tesis de Grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/8426>
- Lanteri, L. (2012). Determinantes de los precios reales de las materias primas agrícolas. El papel de los inventarios y de los factores macroeconómicos (1960-2010). *Lecturas de Economía*, 77, 189-217. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n77a14774>
- Lesmes, L. (31 de enero, 2022). El impacto de la crisis de contenedores podría ir hasta 2023. *Portafolio*. <https://www.portafolio.co/revista-portafolio/el-impacto-de-la-crisis-de-contenedores-podria-ir-hasta-2023-561156>
- Mankiw, N. G. (2017). *Principles of Economics*. Cengage.
- Marshall, A. (1890). *Principles of Economics*. Macmillan.

Merino, Á. (31 de enero, 2023). El comercio de fertilizantes en el mundo. *El Orden Mundial (EOM)*. <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/comercio-fertilizantes-mundo/>

Minagricultura (2021). *Boletín de precios de insumos agropecuarios no.2 de 2021*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Boletines/BOLET%C3%8DN%20DE%20PRECIOS%20DE%20INSUMOS%20AGROPECUARIOS%20No.2%20de%202021.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR (2007). *Bases para el diseño de una política de precios de agroquímicos. Informe final*. <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/Informe%20Final%20Estudio%20Competencia%20y%20Precios%20Agroqu%C3%admicos.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2007). Resolución 302 de 2007. Por la cual se establece la política de precios en materia de insumos agropecuarios. *Diario Oficial*, 46.840. https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_302_de_2007_ministerio_de_agricultura_y_desarrollo_rural.aspx#/

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR (22 de diciembre, 2020). Cadena Caña de Azúcar. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. *Versión: 22 de diciembre de 2020*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/CanaAzucar/Documentos/2020-12-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR (diciembre de 2011). *Política de precios de insumos agropecuarios*. <https://www.minagricultura.gov.co/tramites-servicios/otros/Paginas/v1/Politica-de-precios-de-insumos-agropecuarios.aspx>

Mora Rivera, J. J., Zamudio Carrillo, A., y Fuentes Castro, H. J. (2014). Volatilidad e interdependencia en los precios agrícolas a partir de un modelo GARCH multivariado. *Análisis Económico*, 72(29), 35-56. <https://www.redalyc.org/pdf/413/41337767003.pdf>

- Mordor Intelligence (s. f.). *Análisis del tamaño y la participación del mercado de fertilizantes tendencias y pronósticos de crecimiento (2023 – 2028)*.
<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/fertilizers-market>
- Nash, J. F. (1950). The Bargaining Problem. *Econometrica*, 18(2), 155-162.
- Penrose, E. (1995[1959]). *The Theory of the Growth of the Firm* (3rd. ed.). Oxford University Press.
- Perilla Jiménez, J. R. (2019). *El impacto de los precios del petróleo en la economía colombiana*. *Revista de Economía del Rosario*, 13(1), 75-116.
<https://revistas.urosario.edu.co/index.php/economia/article/view/1631/1456>
- Portafolio (2023). La escasez de fertilizantes genera incertidumbre en el agro. *El Tiempo*.
<https://www.eltiempo.com/economia/sectores/escasez-de-fertilizantes-la-problematika-para-america-latina-732749>
- Quintero D., R. (1997). Fertilización nitrogenada en Caña de Azúcar. Centro de investigación de la caña de azúcar en Colombia (Cenicaña). *Serie Técnica*, 21.
https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_21/st_21.pdf
- Ricardo, D. (1817). *Principles of Political Economy and Taxation*. John Murray.
- Robinson, J. (1933). *The Economics of Imperfect Competition*. Palgrave Macmillan.
- Roitbarg, H. A. (2021). Factores detrás del aumento de precios en el sector agrícola a inicios del siglo XXI: rentas, salarios, petróleo y productividad. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 88(2), 169-199. <https://doi.org/10.13043/DYS.88.5>
- Sánchez, A. M. (5 de mayo, 2021). Alza de 20% en precios de insumos del agro genera retrasos en logística. *Agronegocios*. <https://www.agronegocios.co/agricultura/alza-de-20-en-precios-de-los-insumos-del-agro-genera-retrasos-en-cadena-logistica-3164439>
- Say, J.-B. (1803). *A Treatise on Political Economy: On the Production, Distribution, and Consumption*. Longman, Hurst, Rees, Orme, and Brown.

The Business Research Company (2023). *Agrochemicals Global Market Report 2023*.

<https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/agrochemicals-global-market-report>

Vargas Arenas, J. (2014). *Conformación de precios de los commodities agrícolas en Colombia* [trabajo de Grado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/cfa4836e-7bba-419d-bc5f-7c45426fe70f>

Von Stackelberg, H. (1934). *Marktform und Gleichgewicht*. Springer.

Walras, L. (1874). *Éléments d'économie politique pure*. L. Corbaz & C^{ie}.

<https://archive.org/details/lmentsdconomiiep01walrgoog>

Zapata Quinchía, A. (16 de Septiembre de 2021). Alza en insumos para el agro sigue afectando a los productores. *El Colombiano*. <https://www.elcolombiano.com/negocios/agro/precios-de-insumos-subieron-en-colombia-GF15671315>

ANEXOS

Anexo 1. Modelo de regresión lineal con todas las variables explicativas. Variable DAP

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	DAP		R-squared:	0.986		
Model:	OLS		Adj. R-squared:	0.984		
Method:	Least Squares		F-statistic:	660.1		
Date:	Sat, 30 Sep 2023		Prob (F-statistic):	6.05e-67		
Time:	15:40:03		Log-Likelihood:	-873.44		
No. Observations:	85		AIC:	1765.		
Df Residuals:	76		BIC:	1787.		
Df Model:	8					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
WTI	122.9298	98.344	1.250	0.215	-72.938	318.798
TRM	31.1808	3.286	9.489	0.000	24.636	37.726
T_INT	3.47e+05	5.75e+04	6.036	0.000	2.32e+05	4.61e+05
INF	-1.439e+05	2.65e+05	-0.543	0.589	-6.72e+05	3.84e+05
WAR	5.765e+04	1.52e+04	3.796	0.000	2.74e+04	8.79e+04
IMP_TON	0.0162	0.018	0.905	0.368	-0.019	0.052
P_TON	123.8753	19.156	6.467	0.000	85.722	162.028
CANA_TON	0.0034	0.002	1.385	0.170	-0.001	0.008
const	-7.808e+04	2.07e+04	-3.772	0.000	-1.19e+05	-3.68e+04
Omnibus:	24.100	Durbin-Watson:	1.398			
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	61.799			
Skew:	0.909	Prob(JB):	3.81e-14			
Kurtosis:	6.761	Cond. No.	6.64e+08			

Notes:

[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.

[2] The condition number is large, 6.64e+08. This might indicate that there are strong multicollinearity or other numerical problems.

Anexo 2. Modelo de regresión lineal con todas las variables explicativas. Variable KCL

OLS Regression Results						
=====						
Dep. Variable:	KCL		R-squared:	0.980		
Model:	OLS		Adj. R-squared:	0.978		
Method:	Least Squares		F-statistic:	460.9		
Date:	Sat, 30 Sep 2023		Prob (F-statistic):	4.00e-61		
Time:	15:40:04		Log-Likelihood:	-891.87		
No. Observations:	85		AIC:	1802.		
Df Residuals:	76		BIC:	1824.		
Df Model:	8					
Covariance Type:	nonrobust					
=====						
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]

WTI	85.2911	122.155	0.698	0.487	-158.002	328.585
TRM	42.3107	4.082	10.366	0.000	34.181	50.440
T_INT	3.845e+05	7.14e+04	5.385	0.000	2.42e+05	5.27e+05
INF	-4.315e+05	3.29e+05	-1.311	0.194	-1.09e+06	2.24e+05
WAR	5.242e+04	1.89e+04	2.778	0.007	1.48e+04	9e+04
IMP_TON	-0.0034	0.022	-0.151	0.880	-0.048	0.041
P_TON	119.5178	23.795	5.023	0.000	72.127	166.909
CANA_TON	0.0017	0.003	0.560	0.577	-0.004	0.008
const	-1.276e+05	2.57e+04	-4.962	0.000	-1.79e+05	-7.64e+04
=====						
Omnibus:	10.071	Durbin-Watson:	0.904			
Prob(Omnibus):	0.007	Jarque-Bera (JB):	14.368			
Skew:	-0.495	Prob(JB):	0.000758			
Kurtosis:	4.754	Cond. No.	6.64e+08			
=====						

Notes:

- [1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.
 [2] The condition number is large, 6.64e+08. This might indicate that there are strong multicollinearity or other numerical problems.

Anexo 3. Modelo de regresión lineal con todas las variables explicativas. Variable UREA

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	UREA		R-squared:	0.982		
Model:	OLS		Adj. R-squared:	0.980		
Method:	Least Squares		F-statistic:	508.2		
Date:	Sat, 30 Sep 2023		Prob (F-statistic):	1.06e-62		
Time:	15:40:04		Log-Likelihood:	-890.18		
No. Observations:	85		AIC:	1798.		
Df Residuals:	76		BIC:	1820.		
Df Model:	8					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
WTI	181.7818	119.745	1.518	0.133	-56.711	420.274
TRM	30.6949	4.001	7.671	0.000	22.726	38.664
T_INT	1.295e+04	7e+04	0.185	0.854	-1.26e+05	1.52e+05
INF	-1.968e+05	3.23e+05	-0.610	0.544	-8.39e+05	4.46e+05
WAR	5.967e+04	1.85e+04	3.227	0.002	2.28e+04	9.65e+04
IMP_TON	0.0161	0.022	0.737	0.464	-0.027	0.059
P_TON	159.1611	23.325	6.824	0.000	112.705	205.617
CANA_TON	0.0032	0.003	1.100	0.275	-0.003	0.009
const	-9.966e+04	2.52e+04	-3.954	0.000	-1.5e+05	-4.95e+04
Omnibus:	7.963	Durbin-Watson:	1.318			
Prob(Omnibus):	0.019	Jarque-Bera (JB):	14.230			
Skew:	0.218	Prob(JB):	0.000813			
Kurtosis:	4.957	Cond. No.	6.64e+08			

Notes:

[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.

[2] The condition number is large, 6.64e+08. This might indicate that there are strong multicollinearity or other numerical problems.

Anexo 4. Modelo de regresión lineal con todas las variables explicativas. Variable SAM

OLS Regression Results						
=====						
Dep. Variable:	SAM		R-squared:	0.987		
Model:	OLS		Adj. R-squared:	0.985		
Method:	Least Squares		F-statistic:	703.1		
Date:	Sat, 30 Sep 2023		Prob (F-statistic):	5.71e-68		
Time:	15:40:05		Log-Likelihood:	-829.40		
No. Observations:	85		AIC:	1677.		
Df Residuals:	76		BIC:	1699.		
Df Model:	8					
Covariance Type:	nonrobust					
=====						
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]

WTI	124.4179	58.579	2.124	0.037	7.747	241.089
TRM	12.2236	1.957	6.245	0.000	8.325	16.122
T_INT	-1.175e+05	3.42e+04	-3.431	0.001	-1.86e+05	-4.93e+04
INF	-4.114e+04	1.58e+05	-0.261	0.795	-3.55e+05	2.73e+05
WAR	7.633e+04	9046.764	8.438	0.000	5.83e+04	9.44e+04
IMP_TON	0.0227	0.011	2.133	0.036	0.002	0.044
P_TON	34.5225	11.411	3.025	0.003	11.796	57.249
CANA_TON	-0.0019	0.001	-1.316	0.192	-0.005	0.001
const	-5859.4835	1.23e+04	-0.475	0.636	-3.04e+04	1.87e+04
=====						
Omnibus:	12.662		Durbin-Watson:	0.539		
Prob(Omnibus):	0.002		Jarque-Bera (JB):	14.875		
Skew:	-0.753		Prob(JB):	0.000589		
Kurtosis:	4.391		Cond. No.	6.64e+08		
=====						

Notes:

[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.

[2] The condition number is large, 6.64e+08. This might indicate that there are strong multicollinearity or other numerical problems.