

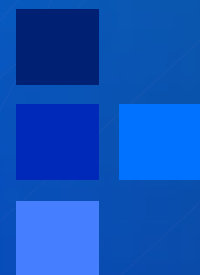
N.º60

JUNIO DE 2026

# DOCUMENTOS

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA

UNIVERSIDAD DEL NORTE



**LAS CONDICIONES AMBIENTALES  
LOCALES INFLUYEN EN EL IMPACTO DE  
LAS SEQUÍAS SOBRE LOS PRECIOS  
AGRÍCOLAS. EL CASO DE LA LECHE  
CRUDA EN COLOMBIA**

**Las condiciones ambientales locales influyen en el  
impacto de las sequías sobre los precios agrícolas.  
El caso de la leche cruda en Colombia.**

Andrés Vargas Pérez

## **Serie Documentos, 60**

Junio de 2026

La serie *Documentos* del Departamento de Economía de la Universidad del Norte circula con el fin de difundir y promover las investigaciones realizadas en Uninorte, y también aquel resultado de la colaboración con académicos e investigadores vinculados a otras instituciones. Los artículos no han sido evaluados por pares, ni están sujetos a ningún tipo de evaluación formal por parte del equipo editorial.

Se autoriza la reproducción parcial de su contenido siempre y cuando se cite la fuente, y se solicite autorización a sus autores. Los conceptos expresados son de responsabilidad exclusiva de sus autores, y no representan la visión de la Universidad del Norte.

# Las condiciones ambientales locales influyen en el impacto de las sequías sobre los precios agrícolas. El caso de la leche cruda en Colombia

Andrés Vargas<sup>1</sup>

## Resumen

Este artículo examina el impacto de las sequías sobre el nivel de precios de los productos agrícolas en Colombia. Utilizando el precio de la leche cruda como caso de estudio, esta investigación aprovecha la variabilidad espacial de los precios y las condiciones ambientales para analizar el impacto diferencial de las sequías entre regiones. Las sequías afectan negativamente el rendimiento y la producción de leche a través de dos vías: los déficits acumulados de precipitación reducen la biomasa forrajera, mientras que las altas temperaturas producen estrés calórico en las vacas lecheras. Mediante modelos de datos de panel heterogéneos, encontramos que los aumentos de precios debidos a las sequías son mayores en zonas de alta temperatura y áridas, lo cual es coherente con la operación simultánea de las dos vías en las regiones más afectadas. Nuestras estimaciones puntuales indican un aumento de precios a largo plazo de entre el 2% y el 4% a nivel nacional, que asciende a entre el 4% y el 8% en el Caribe, la región productora de leche más cálida y árida de Colombia. El impacto económico diferencial de las sequías pone de relieve la importancia de políticas y estrategias de respuesta específicas para cada región.

**Palabras clave:** sequías, eventos extremos, precios agrícolas, impactos climáticos

## 1. Introducción

En la agricultura, las sequías son desastres ambientales espacial y temporalmente variables, específicos de cada región y dependientes del contexto, caracterizados por la disminución de la humedad del suelo y la consiguiente pérdida de cosechas (Mishra & Singh, 2010; Tirivarombo et al., 2018). Estos eventos pueden provocar reducciones en el producto interno bruto (PIB), especialmente en los países de ingresos bajos y medios en zonas áridas y con instituciones débiles (Daher, 2026; Edwards et al., 2024; Zaveri et al., 2023). Las sequías también pueden causar aumentos de la inflación a través del alza de los precios de los alimentos (Abril-Salcedo et al., 2020) y la reasignación de la mano de obra desde la agricultura hacia otros sectores de la economía (Basu, 2025; Musungu et al., 2024).

Una creciente literatura empírica investiga el impacto de las sequías sobre los precios de los productos básicos agrícolas, encontrando en general un efecto positivo cuya

---

<sup>1</sup> Departamento de Economía, Universidad del Norte. [andresmv@uninorte.edu.co](mailto:andresmv@uninorte.edu.co)

magnitud depende de la reducción en la producción y la integración de los mercados locales con los regionales e internacionales (Baffes et al., 2019; De la Cruz Almanza et al., 2022; Letta et al., 2022; Schaub & Finger, 2020). Aunque la mayor parte de esta literatura se centra en los cultivos, y muchas de las lecciones de esos estudios se extienden al ganado, la producción de bovinos de carne y leche plantea cuestiones específicas que justifican un tratamiento separado. La sequía afecta al ganado tanto por vías nutricionales como fisiológicas: disponibilidad y calidad reducida de los forrajes, y estrés calórico cuando las temperaturas ambientales superan la zona termoneutral del animal (Habimana et al., 2023; Rodziewicz et al., 2023).

La evidencia sobre los efectos de la sequía en los precios en los mercados ganaderos es comparativamente escasa y se extrae casi en su totalidad de contextos de zona templada, generalmente análisis subnacionales de jurisdicciones únicas (p.ej., precios del heno alemán en Schaub & Finger, 2020; mercados ganaderos de EE.UU. en Rodziewicz et al., 2023). Los sistemas extensivos tropicales difieren de manera importante: operan bajo temperaturas de línea base crónicamente más altas y dependen en mayor medida de los pastos naturales que del forraje conservado. Como resultado, el efecto marginal de una sequía adicional está determinado tanto por el déficit hídrico acumulado como por si las condiciones ambientales ya se aproximan o superan el umbral de estrés calórico para el ganado.

Se espera que las sequías ejerzan una presión alcista sobre los precios de los productos básicos; sin embargo, su impacto final puede variar entre regiones debido a diferencias en las condiciones climáticas y agroecológicas, lo que implica un efecto diferencial sobre la producción de forraje y el confort térmico del animal. Dado que las sequías afectan negativamente a las economías rurales, estas disparidades regionales subrayan la necesidad de políticas y estrategias de gestión adaptadas a las condiciones locales. Además, aunque un clima más cálido intensificará las condiciones muy secas y, por tanto, la frecuencia y gravedad de las sequías, la ubicación de estos eventos depende de la circulación atmosférica regional (Arias et al., 2021), lo que refuerza aún más el argumento a favor de considerar la heterogeneidad espacial de los impactos económicos de las sequías.

Este estudio contribuye a la literatura analizando empíricamente cómo las sequías impactan los precios en diversos contextos climáticos y agroecológicos de Colombia. El producto de análisis es la leche cruda porque su precio se forma en mercados locales, reflejando así las condiciones ambientales locales. Los datos abarcan 164 municipios de Colombia entre 2013 y 2019. Este período es informativo porque abarca los años anteriores y posteriores al episodio de El Niño de 2015-2016, catalogado como muy fuerte, que determinó la intensidad y duración de las sequías en todo Colombia y afectó gravemente al sector agrícola. Estimamos el impacto mediante modelos de datos de panel dinámicos con efectos correlacionados comunes (Chudik & Pesaran, 2015). Al

integrar datos espaciales de precios y clima, esta investigación demuestra cómo las condiciones ambientales locales median el impacto de las sequías en los precios. Encontramos que las sequías elevan los precios de la leche entre un 2 y un 4% a nivel nacional y entre un 4 y un 8% en el Caribe —la región productora de leche más cálida y árida de Colombia—, lo que subraya el impacto económico espacialmente heterogéneo de los choques climáticos. La evidencia contribuye a fundamentar estrategias regionales de adaptación y gestión, especialmente dado que el cambio climático está aumentando el riesgo y la severidad de las sequías en América del Sur y el Caribe (Naumann et al., 2018).

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. La Sección 2 desarrolla el marco conceptual. La Sección 3 describe el mercado colombiano de leche. La Sección 4 presenta los datos y la metodología econométrica. La Sección 5 reporta los hallazgos empíricos. La Sección 6 concluye.

## **2. Marco conceptual**

En los sistemas ganaderos extensivos tropicales, la sequía influye en la producción de leche a través de su efecto sobre la cantidad y calidad del forraje, y sobre el confort térmico y la fisiología de las vacas. Con respecto a la biomasa forrajera, la precipitación y su efecto sobre el balance hídrico del suelo a lo largo del tiempo es el principal determinante, y la relación es no lineal. Por debajo de un umbral de humedad del suelo —es decir, en condiciones de sequía—, la biomasa aumenta aproximadamente de forma lineal con la precipitación; por encima de ese umbral, la relación se debilita (Souza et al., 2020). En cuanto a la calidad, la sequía y las altas temperaturas degradan la composición nutricional del forraje: a medida que la sequía se intensifica, las plantas maduran bajo estrés, la proteína cruda disminuye y la digestibilidad cae (Habermann et al., 2019; Lee et al., 2017).

En climas cálidos y húmedos, el ganado está expuesto a elevadas temperaturas ambientes y humedad relativa, lo que puede provocar estrés calórico en las vacas. Cuando el efecto combinado de la temperatura y la humedad supera la zona termoneutral, la ingesta de materia seca, el rendimiento de leche y el contenido de proteína y grasa de la leche disminuyen —es decir, se reducen la cantidad y la calidad de la leche (Habimana et al., 2023). El estrés calórico es más probable cuando el índice de temperatura-humedad (ITH) supera aproximadamente 75, lo que corresponde a una temperatura mayor de 25 °C en los trópicos húmedos. Las estrategias de mitigación incluyen la modificación física del entorno (p.ej., sombra), la gestión nutricional y de la alimentación, y la selección genética de ganado tolerante al calor.

La sequía agrícola ocurre cuando la humedad del suelo es insuficiente para sostener la producción de cultivos o pastos, y surge de déficits de precipitación y de una brecha creciente entre la evapotranspiración real y la potencial —ambas específicas de cada

región y contexto (Mishra & Singh, 2010; Tirivarombo et al., 2018). Aunque las sequías se asocian a temperaturas más altas a través de su efecto sobre la evapotranspiración potencial, esto no significa que en toda sequía la temperatura suba por encima de la zona de confort térmico del ganado. Las sequías y las temperaturas ambiente por encima de un umbral pueden o no ocurrir simultáneamente; cuando lo hacen, el impacto conjunto sobre el rendimiento de la leche se amplifica.

El efecto combinado de estas vías implica que la sequía se entiende mejor no como un mecanismo único sino como un choque compuesto —factores de estrés forrajero y térmico concurrentes que escalan de forma no lineal con el clima regional.

Sea la función de demanda y oferta de leche en la región  $i$ :

$$Q_{iDt} = Q_{iD}(P_{it}, Z_{i1t}, \epsilon_{i1t})$$

$$Q_{iSt} = Q_{iS}(P_{it}, W_{it}, Z_{i2t}, \epsilon_{i2t})$$

donde  $P_t$  es el precio spot,  $Z_{1t}$  es el vector de variables de desplazamiento de la demanda,  $Z_{2t}$  el vector de variables de desplazamiento de la oferta,  $w_t$  es una variable climática, y  $\epsilon_{1t}$  y  $\epsilon_{2t}$  son choques aleatorios. A partir de estas ecuaciones podemos escribir la función de demanda inversa como:

$$P_{it} = f(W_{it}, Z_{i1t}, Z_{i2t}, \epsilon_{it})$$

Asumiendo una forma log-lineal, como en (Roberts & Schlenker, 2013), la forma reducida de la ecuación de precios es:

$$p_{it} = \alpha_i + \theta_i W_{it} + u_{it} \quad (1)$$

Donde  $p_t = \ln(P_t)$ , y el término de error  $u_t$  captura las variables de desplazamiento no observadas de la oferta y la demanda, así como los choques aleatorios. El parámetro  $\theta_i$  muestra la respuesta del precio al clima. Dado que esta es una ecuación de forma reducida, el parámetro es una combinación del efecto de la variable climática sobre la oferta de leche y las elasticidades de precio de la oferta y la demanda. En cuanto a la variable climática, siguiendo la discusión anterior, se modela como:

$$W_{it} = I(SPEI_{it} - \tau < 0) \quad (2)$$

Donde  $I$  es una variable indicadora igual a 1 si  $SPEI_t < \tau$ . El índice de evapotranspiración estandarizado (SPEI) es un índice de sequía multiescalar basado en la temperatura y la evapotranspiración potencial (Vicente-Serrano et al., 2010). Dado que el SPEI es una variable normal estandarizada, sus valores tienen un significado probabilístico universal independientemente de la zona climática o la escala temporal; valores por debajo de  $-1,5$  se utilizan convencionalmente para identificar condiciones de sequía severa y extrema. Por lo tanto, establecemos  $\tau = -1.5$ .

Las diferencias regionales se exploran a lo largo de dos dimensiones: temperatura y región productora. Como se discutió anteriormente, en las regiones cálidas ambos canales —disminución del forraje y estrés calórico— operan, por lo que se espera que la respuesta del precio a la sequía sea mayor. Una región es cálida si su temperatura media histórica está por encima de los  $25$  °C. Las regiones productoras de leche de Colombia —Occidental, Central, Caribe y Pacífico— difieren en altitud, aridez y temperatura.

### 3. El mercado colombiano de leche

Colombia es el cuarto mayor productor de leche de América Latina, con una producción total de leche cruda de aproximadamente 8.400 millones de litros en 2025. Se pueden distinguir dos sistemas de producción. Los sistemas lecheros especializados, ubicados en los trópicos altos por encima de los 2.000 metros sobre el nivel del mar, aportan el 45% de la producción nacional; los sistemas de doble propósito, en los trópicos bajos, suministran el 55% restante. Aproximadamente 319.000 hogares producen leche en Colombia, predominantemente a través de sistemas de producción extensivos de pequeña escala (FEDEGAN, 2026). Aproximadamente el 80% de las unidades de producción operan con menos de 50 cabezas de ganado, y la capacidad de carga promedio a nivel nacional es de aproximadamente 0,7 cabezas de ganado por hectárea (Durana et al., 2023).

Para fines de política y análisis, las áreas productoras se agrupan en cuatro regiones: Central, Occidental, Caribe y Pacífico (Tabla 1 y Figura 1). Las regiones Central y Occidental se encuentran en los Andes y contienen la mayoría de las zonas de alto trópico; la región central es más árida que la Occidental. Las áreas productoras de la región Pacífico tienden a ubicarse a altitudes más bajas que las de las regiones Central y Occidental, con niveles de aridez similares a los de la región Central. La región Caribe se encuentra en los trópicos bajos, con condiciones más áridas y niveles de temperatura más altos que las otras regiones.

**Tabla 1: Características principales de las regiones productoras**

Región	Altitud (m.s.n.m.)	Aridez	Temperatura (°C)
Central	1.788	1,75	17,8
	(1023)	(0,8)	(4,87)
Occidental	1.757	2,32	20,2
	(596)	(0,6)	(1,9)
Caribe	78	0,66	27,8
	(66)	(0,23)	(1,5)
Pacífico	1.600	1,7	18,1
	(801)	(0,6)	(4,0)

*Fuente: Cálculos de los autores con datos de CRU TS. Los valores son promedios sobre las cuadrículas de cada región. Desviación estándar entre paréntesis. La altitud es la altitud promedio de las capitales de los municipios de cada región. La aridez se mide como  $p/pet$ , donde  $p$  es la precipitación y  $pet$  es la evapotranspiración potencial. Las áreas más áridas exhiben valores de índice más bajos (Zomer et al., 2022).*

El mercado colombiano de leche es en gran medida informal: aproximadamente la mitad de toda la leche cruda producida en el país se comercializa fuera de la cadena de procesamiento regulada —directamente a los consumidores, a productores artesanales de queso, o a través de redes de intermediarios sin control de calidad ni regulación de precios. Los precios en este segmento informal no están sujetos al sistema de precios de referencia administrado por el Ministerio de Agricultura y responden más directamente a las condiciones locales de oferta y demanda (Vargas et al., 2024).

## 4. Datos y métodos

### 4.1 Datos

El conjunto de datos contiene observaciones mensuales de febrero de 2013 a diciembre de 2019. Los datos de precios de leche cruda abarcan 164 municipios de Colombia y están expresados en pesos colombianos por litro. Los precios nominales se ajustan utilizando el índice de precios al productor. Los precios se registran a nivel de finca y son compilados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)<sup>2</sup>. Los datos de temperatura y precipitación se extraen de la versión 4 del CRU TS (Harris et al., 2020), un conjunto de datos climáticos en cuadrícula con una resolución de 0,5° de latitud

---

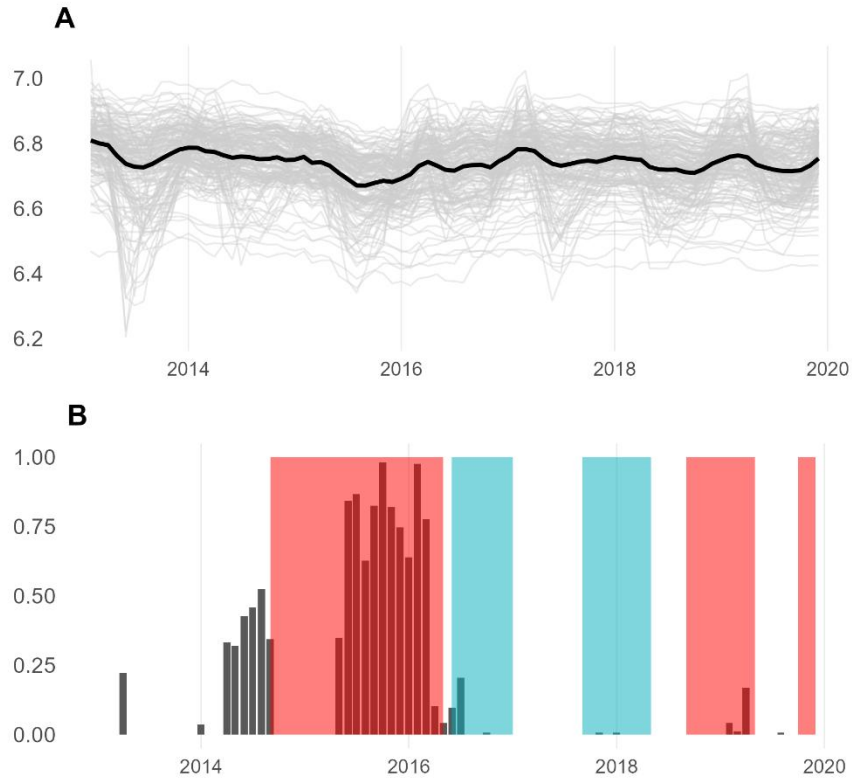
<sup>2</sup> <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/boletin-mensual-precios-de-leche-cruda-en-finca>

por 0,5° de longitud que cubre todos los dominios terrestres del mundo excepto la Antártida. Los 164 municipios del análisis están contenidos en 71 cuadrículas (véase la Figura 1). El índice SPEI a nivel de cuadrícula se calculó a partir de datos de precipitación y temperatura del CRU para el período 1980-2019, utilizando el método de Thornthwaite para la evapotranspiración potencial y agregando el balance hídrico a una escala temporal de 3 meses.

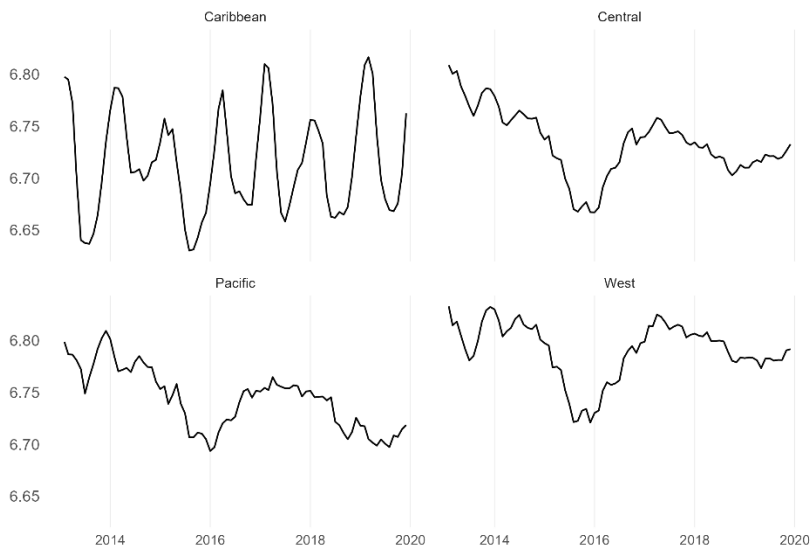
Como muestra la Figura 2, los precios varían sustancialmente entre municipios y a lo largo del tiempo. La evolución de los precios regionales (Figura 3) sigue un patrón similar en las regiones Central, Occidental y Pacífico, con precios que caen de 2013 a mediados de 2015 y se revierten a partir de 2016. La región Caribe no exhibe una tendencia clara; en cambio, su característica más llamativa es la estacionalidad, con precios típicamente más altos en el primer trimestre y más bajos en el tercero, en línea con las estaciones seca y húmeda. Los precios de la región Occidental son sistemáticamente más altos que los de las otras regiones, mientras que los precios del Caribe son sistemáticamente más bajos.

La incidencia de sequías es más alta en 2015–2016, coincidiendo con el muy fuerte evento de El Niño que comenzó en julio de 2015 y terminó en abril de 2016. Aunque el evento afectó a todas las regiones, sus efectos fueron más fuertes en las regiones Caribe y Central; de hecho, varios municipios de esas regiones experimentaron condiciones de sequía mucho antes de que El Niño estuviera completamente desarrollado (véase la Figura 4). El débil El Niño de 2018–2019 también estuvo asociado con un aumento en las sequías, particularmente en el Caribe, pero con una incidencia mucho menor.





**Figura 2: Precios y sequías.** Panel A: *logaritmo natural del precio de la leche cruda para cada municipio (líneas gris claro) y el promedio nacional (línea negra sólida).* Panel B: *porcentaje de municipios en sequía por período. Las áreas sombreadas en rojo marcan los períodos de El Niño; las áreas sombreadas en azul marcan los períodos de La Niña.*



**Figura 3: Precio de la leche por región (log)**

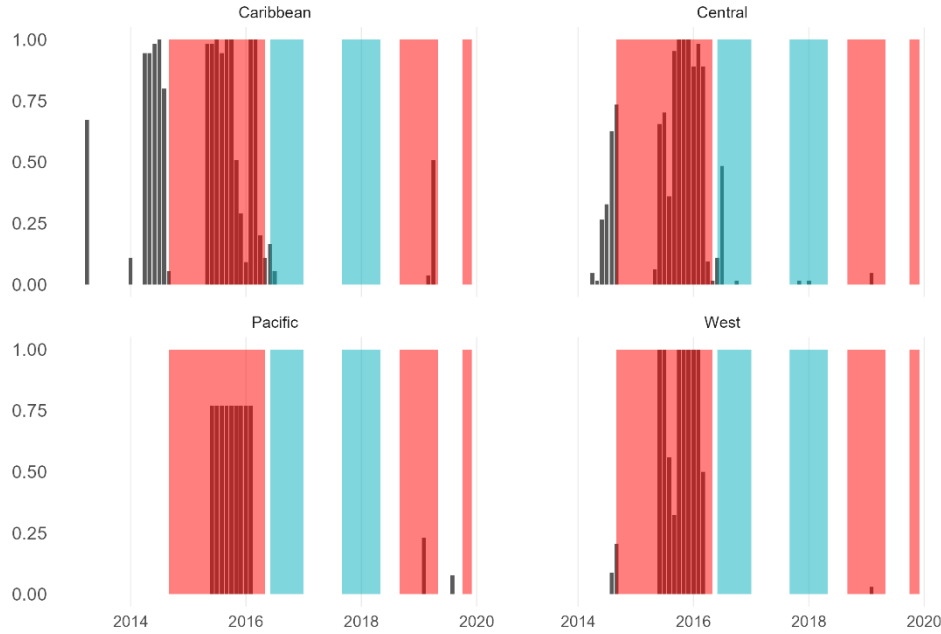


Figura 4: Incidencia de sequías por región

## 4.2 Modelo econométrico

Basamos el análisis empírico en la siguiente extensión de (1):

$$p_{it} = a_i + \sum_{l=1}^{p_{yi}} \psi_{il} p_{i,t-l} + \sum_{l=0}^{p_{xi}} \beta'_{il} W_{i,t-l} + \epsilon_{it} \quad (3)$$

Lo anterior es un modelo ARDL de panel con coeficientes heterogéneos. Los efectos a largo plazo,  $\theta_i$ , se derivan de los coeficientes a corto plazo en (3):  $\theta_i = (1 - \sum_{l=1}^p \psi_{il})^{-1} \sum_{l=0}^p \beta_{il}$ . Siguiendo a Chudik & Pesaran (2015), el coeficiente a largo plazo puede estimarse directamente a través de la representación de rezago distribuido (DL, por sus siglas en inglés) del modelo ARDL:

$$p_{it} = a_i + \theta_i w_{it} + \sum_{l=0}^q \alpha_{il} \Delta W_{i,t-l} + v_{it} \quad (4)$$

El enfoque ARDL de panel es atractivo porque es válido independientemente de si las variables subyacentes son  $I(0)$  o  $I(1)$  y es robusto al sesgo por variables omitidas y a los efectos de retroalimentación bidireccional. Sin embargo, se necesitan rezagos suficientemente largos para la consistencia de las estimaciones ARDL, mientras que especificar rezagos más largos de lo necesario puede conducir a estimaciones con pobres propiedades en muestras pequeñas (Chudik & Pesaran, 2015). El método DL,

por el contrario, tiende a exhibir mejor desempeño en muestras pequeñas, requiere solo la selección del orden de rezago de truncamiento,  $q$ , y es robusto a distintos órdenes de rezago. La principal desventaja del enfoque DL es que el término de error  $v_{it}$  estará correlacionado con  $w_{it}$  cuando existen efectos de retroalimentación de los valores rezagados de la variable dependiente sobre los regresores. En nuestro caso, esto no es un problema ya que las condiciones de sequía están determinadas por la dinámica atmosférica, no por las decisiones de los ganaderos. Después de obtener las estimaciones individuales  $\hat{\theta}_i$ , una estimación consistente del efecto promedio a largo plazo se obtiene usando el estimador de grupos medios  $\hat{\theta} = N^{-1} \sum_{i=1}^N \hat{\theta}_i$ . Las estimaciones individuales se obtienen ejecutando regresiones de mínimos cuadrados para cada  $i$  por separado. Estas pueden luego promediarse entre regiones —por ejemplo, climas cálidos versus fríos.

Un problema importante en los modelos de datos de panel con grandes dimensiones temporales y de sección cruzada es la dependencia transversal de los errores, que puede surgir de factores comunes no observados, dependencia espacial o dependencia idiosincrásica por pares de  $v_{it}$  y  $v_{jt}$  ( $i \neq j$ ). La correlación entre factores comunes no observados y los regresores conduce a estimaciones sesgadas. Para abordar esto, Chudik et al. (2016) proponen los enfoques CS-ARDL y CS-DL, que aumentan los modelos ARDL y DL con promedios de sección cruzada de la variable dependiente, los regresores y sus rezagos. El modelo CS-DL se escribe por lo tanto como:

$$p_{it} = a_i + \theta_i w_{it} + \sum_{l=0}^q \alpha_{il} \Delta W_{i,t-l} + \sum_{l=0}^{p_{\bar{y}}} \omega_{pil} \bar{p}_{t-l} + \sum_{l=0}^{p_{\bar{w}}} \omega_{wil} \bar{W}_{t-l} + v_{it} \quad (5)$$

donde  $\bar{p}_t = N^{-1} \sum_{i=1}^N p_{it}$ ,  $\bar{W}_t = N^{-1} \sum_{i=1}^N W_{it}$ , y  $p_{\bar{y}=p_{\bar{w}}}$  es igual a la parte entera de  $T^{1/3}$ , que en este estudio es cuatro.

Usamos el mismo orden de rezago para todos los municipios, pero consideramos diferentes valores de  $q$  en el rango de 0 a 6, para investigar la sensibilidad de los resultados a la elección del orden de rezago. Este enfoque mitiga las preocupaciones de minería de datos que podrían surgir al seleccionar órdenes de rezago específicos por municipio mediante criterios de información como el AIC. Nuestro interés está en el coeficiente a largo plazo más que en la dinámica específica de algún área en particular. Finalmente, para analizar el impacto heterogéneo de las sequías en los precios, estimamos el modelo CS-DL por separado para regiones definidas por temperatura y por área de producción de leche, siguiendo a Kahn et al. (2021) y Chudik et al. (2017).

## 5. Hallazgos empíricos

Las estimaciones de los efectos a largo plazo de las sequías sobre el precio de la leche para todos los municipios se resumen en la Tabla 1, que está organizada en tres paneles. El primer panel reporta el modelo DL sin promedios de sección cruzada. El segundo panel, modelo CS-DL (1), aumenta la especificación DL con promedios de sección cruzada para controlar los factores comunes. El tercer panel, modelo CS-DL (2), adicionalmente incluye un rezago espacial del precio real de la leche,  $\sum_{j \neq i} m_{ij} p_{jt}$ , donde  $m_{ij}$  es una matriz de pesos espaciales con pesos dados por la distancia inversa entre  $i$  y  $j$ . Este término captura la dependencia espacial local que no absorben los factores comunes.

Los resultados del modelo DL sugieren un efecto negativo. Sin embargo, el modelo DL asume que los errores son independientes entre secciones cruzadas —un supuesto fuerte, dado que factores como la exposición a políticas y choques comunes probablemente lo violan. Para calibrar el grado de dependencia de sección cruzada, reportamos la prueba CD de Pesaran (2021), que se basa en la correlación promedio por pares de los residuos. Para todos los órdenes de rezago, la prueba indica un grado significativo de dependencia de sección cruzada.

Para abordar esto, empleamos el enfoque CS-DL. El estadístico de la prueba CD en el segundo panel muestra una disminución sustancial en la correlación promedio por pares de los residuos una vez que el modelo DL se aumenta con promedios de sección cruzada, aunque los valores aún rechazan la hipótesis nula de débil dependencia de sección cruzada. Dado que los promedios de sección cruzada capturan solo los factores comunes que afectan a todos los municipios, la dependencia espacial residual puede persistir debido a distintos grados de integración del mercado local. Para controlar esto, aumentamos el modelo con un término autorregresivo espacial. Como muestra el tercer panel, el estadístico CD cae sustancialmente y se ubica dentro de la región de no rechazo, indicando que el modelo no sufre de dependencia de sección cruzada. En cuanto a las estimaciones puntuales del parámetro a largo plazo, los resultados en el segundo y tercer panel son similares para todos los rezagos e indican que las sequías causan un aumento en los precios. Todos los coeficientes son positivos y estadísticamente significativos, con valores que oscilan entre 0,024 y 0,04.

**Tabla 1: Efectos a largo plazo de las sequías sobre el precio de la leche: modelos CS-DL**

Rezagos	Modelo DL			Modelo CS-DL (1)			Modelo CS-DL (2)		
	$\theta$	EE( $\theta$ )	DC	$\theta$	EE( $\theta$ )	DC	$\theta$	EE( $\theta$ )	DC
q=0	-0,040	0,003	183,56	0,024	0,004	2,420	0,024	0,004	0,058
q=1	-0,044	0,004	172,79	0,028	0,006	2,520	0,027	0,006	0,195
q=2	-0,046	0,004	170,17	0,035	0,007	2,780	0,035	0,007	0,531
q=3	-0,049	0,004	173,35	0,041	0,008	2,480	0,040	0,008	0,360
q=4	-0,051	0,004	181,1	0,044	0,010	2,760	0,043	0,010	0,327
q=5	-0,053	0,005	188,66	0,042	0,011	4,310	0,040	0,011	1,970
q=6	-0,054	0,005	196,58	0,042	0,011	6,180	0,039	0,011	4,240

*Notas: DL = rezago distribuido; CS-DL = rezago distribuido aumentado con sección cruzada. Estimaciones obtenidas por promediación de grupos medios en N = 164 municipios, T = 83. Todas las especificaciones incluyen dummies mensuales. DC es la prueba de dependencia de sección cruzada de Pesaran (2021); la hipótesis nula es débil dependencia de sección cruzada. Errores estándar entre paréntesis.*

Las estimaciones de grupos medios para los 164 municipios pueden interpretarse como el promedio ponderado de las estimaciones para los municipios cálidos y no cálidos, y equivalentemente como el promedio ponderado de las estimaciones entre regiones productoras. La Tabla 2 reporta los resultados desagregados —para municipios cálidos y no cálidos y para cada región productora— usando la especificación del modelo CS-DL(2).

**Tabla 2: Efectos a largo plazo de la sequía sobre el precio por zona de temperatura y regiones productoras**

Rez.	T>25		T<25		Central		Occidental		Caribe		Pacífico	
	$\theta$	EE( $\theta$ )	$\theta$	EE( $\theta$ )	$\theta$	EE( $\theta$ )	$\theta$	EE( $\theta$ )	$\theta$	EE( $\theta$ )	$\theta$	EE( $\theta$ )
q=0	0,035	0,008	0,017	0,005	0,015	0,005	0,011	0,010	0,041	0,009	0,030	0,016
q=1	0,037	0,010	0,021	0,006	0,018	0,006	0,017	0,014	0,043	0,011	0,029	0,020
q=2	0,051	0,013	0,025	0,008	0,024	0,007	0,019	0,018	0,057	0,014	0,030	0,025
q=3	0,063	0,016	0,027	0,009	0,028	0,011	0,016	0,020	0,071	0,016	0,037	0,029
q=4	0,069	0,021	0,027	0,011	0,031	0,012	0,005	0,023	0,080	0,022	0,047	0,029
q=5	0,062	0,022	0,027	0,011	0,029	0,011	0,003	0,024	0,074	0,024	0,054	0,026
q=6	0,054	0,023	0,030	0,010	0,034	0,012	0,004	0,023	0,067	0,025	0,044	0,024

*Estimaciones CS-DL usando la especificación del modelo (2)*

Los hallazgos clave son los siguientes. Primero, las estimaciones para los municipios con una temperatura promedio superior a 25 °C son sustancialmente más grandes, lo que indica que el impacto de las sequías sobre los precios de la leche es más severo en

climas cálidos. Esto es coherente con el efecto negativo de las altas temperaturas sobre el confort térmico bovino, efecto que está ausente en las regiones más frías. Segundo, la desagregación regional muestra un patrón claro: el coeficiente a largo plazo es el más grande y estadísticamente significativo para el Caribe —la región más cálida y árida—, mientras que, para la región Occidental, la menos árida, la estimación puntual es la más baja y no significativa en términos estadísticos. En conjunto, estos resultados regionales sugieren que el impacto de las sequías es más fuerte en ambientes cálidos y áridos, lo cual es coherente con los mecanismos económicos y biológicos expuestos en la Sección 2.

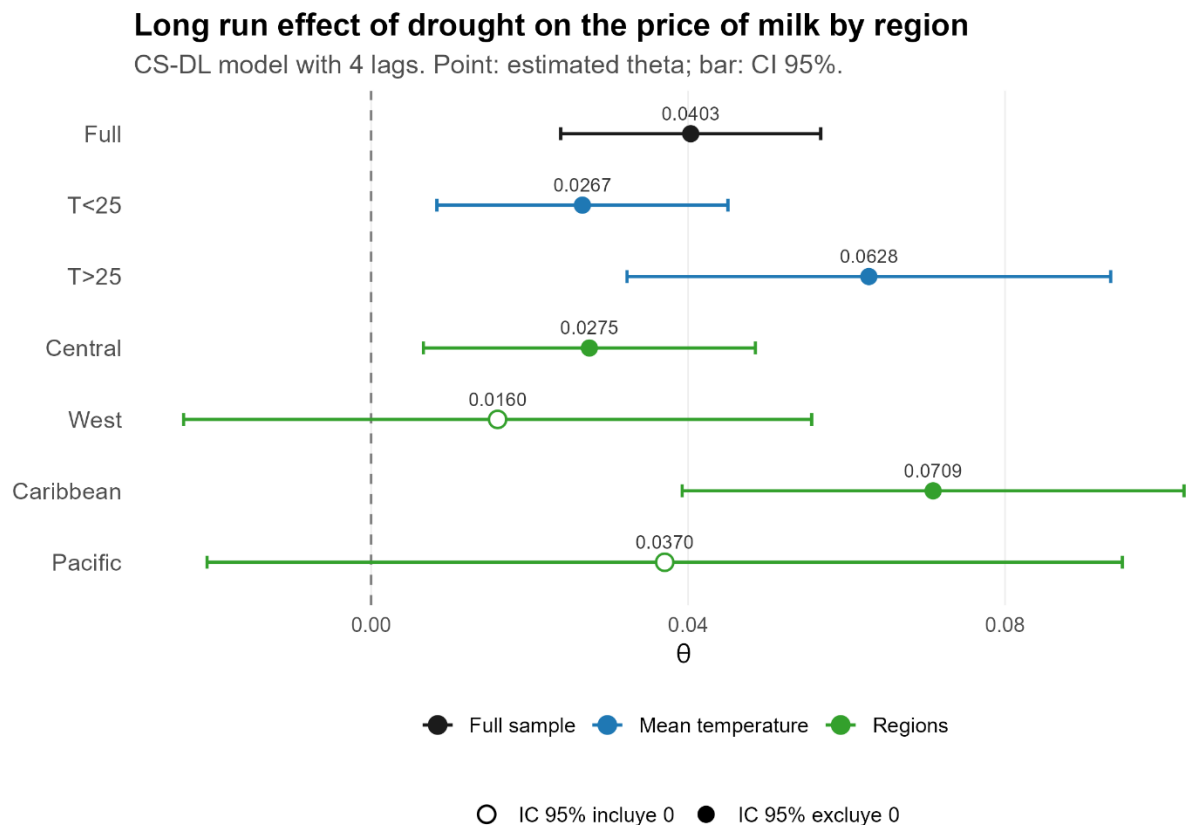


Figura 3: Efecto a largo plazo de la sequía sobre el precio de la leche, por zona de temperatura y región productora. Nota: estimaciones puntuales con intervalos de confianza del 95% de la especificación del modelo CS-DL (2).

## 6. Observaciones finales

Este estudio analizó el impacto de las sequías sobre los precios agrícolas en las regiones y zonas de temperatura de Colombia, un país tropical de América del Sur. Utilizando precios en finca de leche cruda para 164 municipios junto con datos climáticos en

cuadrícula, el análisis econométrico proporciona evidencia clara de que el impacto de las sequías en los precios está mediado por las condiciones ambientales del área productora. Mostramos que las sequías tienen efectos positivos a largo plazo sobre el nivel de precios: a nivel nacional, nuestras estimaciones puntuales indican un aumento de precios a largo plazo de entre el 2% y el 4%, que se eleva a entre el 4% y el 8% en el Caribe —la región productora de leche más cálida y árida de Colombia.

Estos efectos a largo plazo difieren entre zonas de temperatura y regiones productoras. Nuestras estimaciones de panel heterogéneas indican un mayor impacto en los municipios con temperaturas promedio superiores al umbral de 25 °C y en las regiones productoras que experimentan condiciones áridas. El coeficiente de precio a largo plazo para los municipios de alta temperatura es aproximadamente el doble que para los municipios por debajo de 25 °C, y en el Caribe el efecto a largo plazo alcanza el 4–8%, aproximadamente el doble del promedio nacional. Si bien la teoría económica predice que las sequías elevan los precios, la magnitud de ese efecto depende de la respuesta combinada de los sistemas biológicos involucrados en la producción y de la estructura de mercado prevaleciente. Este estudio contribuye al demostrar que las diferencias en las condiciones ambientales locales —particularmente el clima cálido-árido del Caribe— median el efecto de precio de las sequías, subrayando así el impacto económico espacialmente heterogéneo de los eventos climáticos extremos.

Si bien el estudio produce evidencia robusta, no está exento de limitaciones. Los resultados son para un solo país y un producto en particular. Además, el alcance del estudio se limita al efecto sobre el precio al productor. Investigaciones futuras podrían ampliar el análisis para incluir otros productos agrícolas tropicales, la transmisión al precio al consumidor de los productos lácteos terminados y realizar un análisis de bienestar.

Desde una perspectiva de política, nuestros hallazgos enfatizan la importancia de diseñar estrategias de mitigación y adaptación diferenciadas regionalmente. Aunque el aumento de precios es una respuesta al choque de oferta, las diferencias regionales indican que la caída en la producción, y por tanto en los ingresos y ganancias, es mayor en algunas áreas que en otras. Esto tiene implicaciones para el diseño de esquemas de seguro agrícola, subsidios y cualquier otro instrumento cuyo propósito sea ayudar a los productores a gestionar el riesgo y las consecuencias de las sequías. En conclusión, los hallazgos de este estudio destacan la importancia de las condiciones ambientales e institucionales locales en la configuración de las consecuencias económicas de tales eventos, y advierten contra sacar conclusiones generalizadas a partir de datos nacionales solamente.

## Referencias

- Abril-Salcedo, D. S., Melo-Velandia, L. F., & Parra-Amado, D. (2020). Nonlinear relationship between the weather phenomenon El niño and Colombian food prices. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 64(4), 1059–1086.
- Arias, P., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M., Plattner, G.-K., & Rogelj, J. (2021). *Climate Change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; technical summary.*
- Baffes, J., Kshirsagar, V., & Mitchell, D. (2019). What Drives Local Food Prices? Evidence from the Tanzanian Maize Market. *The World Bank Economic Review*, 33(1), 160–184.
- Basu, S. (2025). The effect of drought on household occupation choices in rural India. *Environment and Development Economics*, 1–20.
- Chudik, A., Mohaddes, K., Pesaran, M. H., & Raissi, M. (2016). Long-run effects in large heterogeneous panel data models with cross-sectionally correlated errors.
- Chudik, A., Mohaddes, K., Pesaran, M. H., & Raissi, M. (2017). Is There a Debt-Threshold Effect on Output Growth? *The Review of Economics and Statistics*, 99(1), 135–150.
- Chudik, A., & Pesaran, M. H. (2015). Common correlated effects estimation of heterogeneous dynamic panel data models with weakly exogenous regressors. *Journal of Econometrics*, 188(2), 393–420.
- Daher, N. (2026). Is growth at risk from natural disasters? Evidence from quantile local projections. *Ecological Economics*, 243, 108933.
- De la Cruz Almanza, S., Vargas Pérez, A., & Martínez Martínez, M. L. (2022). Integración espacial de mercados lácteos: efectos de precios regulados. *Revista de Economía Del Caribe*, (29), 76–98.
- Durana, C., Murgueitio, E., & Murgueitio, B. (2023). Sustainability of dairy farming in Colombia's High Andean region. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Volume 7-2023.
- Edwards, E., Sanchez, L., & Sekhri, S. (2024). The Economics of Drought. *Annual Review of Resource Economics*, 16, 105–124.
- FEDEGAN. (2026). Balance y perspectivas del sector ganadero colombiano.
- Habermann, E., et al. (2019). Warming and water deficit impact leaf photosynthesis and decrease forage quality and digestibility of a C4 tropical grass. *Physiologia Plantarum*, 165(2), 383–402.
- Habimana, V., et al. (2023). Heat stress effects on milk yield traits and metabolites and mitigation strategies for dairy cattle breeds reared in tropical and sub-tropical countries. *Frontiers in Veterinary Science*, Volume 10-2023.
- Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, 7(1), 109.
- Kahn, M. E., Mohaddes, K., Ng, R. N. C., Pesaran, M. H., Raissi, M., & Yang, J.-C. (2021). Long-term macroeconomic effects of climate change: A cross-country analysis. *Energy Economics*, 104, 105624.
- Lee, M. A., Davis, A. P., Chagunda, M. G. G., & Manning, P. (2017). Forage quality declines with rising temperatures, with implications for livestock production and methane emissions. *Biogeosciences*, 14(6), 1403–1417.
- Letta, M., Montalbano, P., & Pierre, G. (2022). Weather shocks, traders' expectations, and food prices. *American Journal of Agricultural Economics*, 104(3), 1100–1119.

- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1), 202–216.
- Musungu, A. L., Kubik, Z., & Qaim, M. (2024). Drought shocks and labour reallocation in rural Africa: evidence from Ethiopia. *European Review of Agricultural Economics*, 51(4), 1045–1068.
- Pesaran, M. H. (2021). General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels. *Empirical Economics*, 60(1), 13–50.
- Roberts, M. J., & Schlenker, W. (2013). Identifying supply and demand elasticities of agricultural commodities: Implications for the US ethanol mandate. *American Economic Review*, 103(6), 2265–2295.
- Rodziewicz, D., Dice, J., & Cowley, C. (2023). Drought and cattle: implications for ranchers. *Federal Reserve Bank of Kansas City Working Paper*, (23-06).
- Schaub, S., & Finger, R. (2020). Effects of drought on hay and feed grain prices. *Environmental Research Letters*, 15(3), 034014.
- Souza, R., et al. (2020). Optimal management of cattle grazing in a seasonally dry tropical forest ecosystem under rainfall fluctuations. *Journal of Hydrology*, 588, 125102.
- Tirivarombo, S., Osupile, D., & Eliasson, P. (2018). Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 106, 1–10.
- Vargas, A. M., Ruiz, J. L. R., & de la Cruz Almanza, S. (2024). Transmisión de choques climáticos a precios pecuarios en mercados regulados y no regulados: Evidencia para la leche cruda en la ganadería tropical colombiana. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 24(1), 77–98.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.
- Zaveri, E. D., Damania, R., & Engle, N. L. (2023). Droughts and deficits: the global impact of droughts on economic growth. *The World Bank*.
- Zomer, R. J., Xu, J., & Trabucco, A. (2022). Version 3 of the Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database. *Scientific Data*, 9(1), 409.

