

N.º 44

MAYO DE 2021

DOCUMENTOS

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA

UNIVERSIDAD DEL NORTE



**Efectos de precipitaciones en precios de la
leche usando modelos con umbrales según
la estructura del mercado**

María Lucía Martínez Martínez

Efectos de precipitaciones en precios de la leche usando modelos con umbrales según la estructura del mercado

*

María Lucía Martínez Martínez †

** La autora agradece los aportes del tutor de trabajo de grado PhD Andrés Vargas, investigador y profesor de la Universidad del Norte en Barranquilla, Colombia

† Economista de la Universidad del Atlántico. Magíster en Economía de la Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia. Correo electrónico: marialm@uninorte.edu.co

Citación sugerida: Martínez Martínez, María Lucía (2021). Efectos de precipitaciones en precios de la leche usando modelos con umbrales según la estructura del mercado. Serie Documentos No. 44. Disponible en: <https://www.uninorte.edu.co/web/departamento-de-economia/publicaciones>

Serie Documentos, 44

Mayo de 2021

La serie *Documentos* del Departamento de Economía de la Universidad del Norte circula con el fin de difundir y promover las investigaciones realizadas en esta, y también aquellas 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. Actualmente, la serie cuenta con 43 números publicados a los cuales se puede acceder a través de la página web de la Universidad, específicamente del enlace

<https://www.uninorte.edu.co/web/instituto-de-estudioseconomicos-del-caribe-ieec/publicaciones>.

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.

Comité editorial

Adolfo Meisel Roca, Ph.D.

Alexander Villarraga Orjuela, Ph.D.

Andrés Vargas Pérez, Ph.D.

Carlos Yanes Guerra, Mag.



Vigilada Mineducación

Universidad del Norte

Instituto de Estudios Económicos del Caribe (IEEC)

Apartado aéreo 1569

Barranquilla, Colombia

RESUMEN

Las anomalías climáticas pueden considerarse choques de oferta exógeno que ocasionan cambios en los precios según la estructura de mercado. Se examinan los efectos de las precipitaciones en los precios de la leche, con información mensual de enero 2013 a diciembre 2019 para el departamento del Atlántico, utilizando dos series de precios: una representa la estructura de mercado en competencia y otra una estructura de mercado con precios regulados, para conocer su rol en la transmisión de precios. Las estimaciones se realizan con el modelo no lineal autorregresivo por umbrales (TAR, por sus siglas en inglés), que captura el efecto de las precipitaciones extremas en los precios de la leche. Los resultados muestran que ante precipitaciones muy bajas la respuesta de cada estructura de mercado es diferente tanto en dirección como en magnitud. En la estructura de mercado en competencia, si las precipitaciones disminuyen por debajo de 1,8 mm, el precio aumenta en un 5 %.

Palabras clave: precios de la leche, precipitaciones, El Niño-Oscilación del Sur, modelo autorregresivo por umbrales, estructura de mercado.

Código JEL: C32, D4, Q10, Q54

Introducción

La precipitación es uno de los fenómenos atmosféricos más notables, que puede ser afectada por fenómenos climáticos, como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). ENOS se conoce como un patrón climático recurrente que involucra cambios en la temperatura de las aguas en el océano Pacífico tropical, central y oriental. Esta situación climatológica presenta fases extremas: El Niño y La Niña. Uno de los efectos de ENOS, en su etapa de El Niño, está asociado a la disminución de las lluvias y el aumento de las temperaturas del aire específicamente en las regiones caribe y andina, para el caso colombiano; en la fase de La Niña, sucede justamente lo contrario (Abril-Salcedo et al., 2019; An, 2001; Arias et al., 2008; Bejarano et al., 2020a; Bejarano et al., 2020b; Hall et al., 2009; Ubilava, 2012a, 2012b, 2018; Ubilava y Holt, 2013).

La región caribe es azotada fuertemente por este fenómeno dada su cercanía al epicentro, notándose en sus registros históricos de precipitaciones y temperatura. Según la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), los últimos acontecimientos de fenómenos de El Niño ocurrieron entre noviembre de 2014 y mayo de 2016, así como entre octubre de 2018 y junio de 2019, presentándose rangos de precipitaciones muy bajos o, incluso, nulos por periodos más prolongados que en épocas de verano sin el fenómeno de El Niño.

El recurso hídrico se ve afectado por la fase de El Niño y genera sequías que repercuten en distintas actividades productivas que suelen presentar dependencia de la lluvia, como las actividades agropecuarias, en que se produce una influencia negativa en la producción cuando existen bajas precipitaciones, ya que se afecta el rendimiento de los cultivos y la calidad de los productos derivados de animales. En la producción de leche, por las altas temperaturas y pocas precipitaciones, los animales entran en estrés calórico (González, 2016) y disminuye el nivel de pasto para su alimentación por las pocas lluvias registradas en este periodo, lo que ocasiona variaciones en los volúmenes producidos de leche y en la calidad (Balling 1980; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 2000). Sin embargo, la literatura identifica que los efectos en los precios de un bien, dado un choque de oferta exógeno, como la disminución de las precipitaciones, varía según la estructura del mercado (Weldegebriel, 2004) e intensidad de la variación climática (An, 2001; Hall et al., 2009; Ubilava, 2012a, 2012b, 2018; Ubilava y Holt, 2013).

En este sentido, este aporte busca enriquecer la comprensión sobre la relación entre las precipitaciones y los precios de leche cruda, teniendo dos series de tiempo que contienen los distintos precios que recogen características de estructuras de mercado diferentes, en que aparentemente uno presenta más competencia que otro, porque uno demuestra regulación en sus precios, para lo cual se introducen formalizaciones no lineales al proceso de estimación que permiten la interacción de las variaciones climáticas extremas y normales con los precios. Por lo anterior, se plantea la pregunta: ¿cuál es el efecto de las precipitaciones en los precios de leche cruda en el departamento del Atlántico según la estructura de mercado?

El trabajo se divide en seis secciones continuas a partir de la introducción. Se presenta la revisión de la literatura sobre estructuras de mercado, la relación de precipitaciones con los precios y los modelos de no linealidad. Se realiza un análisis descriptivo de la transmisión de los precios. Se expone la descripción de los datos a utilizar seguido de la modelación de la metodología usada. Y se presentan los resultados y finalmente las conclusiones.

1. Revisión de la literatura

1.1. Estructura de mercado

Diversos estudios se han concentrado en el análisis de las estructuras de mercado y los resultados que generan situaciones exógenas en la producción, el equilibrio y las ganancias del productor. Tal es el caso de Weldegebriel (2004) al comprobar que los choques de oferta exógenos generan efectos en el porcentaje de cambio en los precios de insumos agrícolas, quien utiliza un modelo de transmisión de precios para capturar su objetivo y lograr determinar las elasticidades de transmisión de precios para los insumos agrícolas, tras lo cual encuentra que estas elasticidades difieren según la estructura de mercado: los efectos son mayores en los mercados en competencia (muchos vendedores y compradores) que los mercados con estructura oligopsonica (muchos vendedores y pocos compradores con poder de mercado).

Por otra parte, Chen y Lent (1992) muestran que los cambios en la oferta de un mercado agrícola ocasiona diferentes comportamientos en la estructura de mercado monopsónica, oligopsonica y en competencia perfecta, porque la respuesta de cada estructura depende de la percepción del comportamiento de los competidores y hace que el porcentaje de cambio en los precios de equilibrio y las cantidades de

productos agrícolas, así como las ganancias de los procesadores de alimentos que compran ese producto crudo, sea diferente para cada estructura de mercado. Rogers y Sexton (1994) ilustran cómo la alta concentración de compradores, el transporte costoso de productos y la conducta no competitiva del comprador pueden interactuar para profundizar los diferenciales de precios de venta al por menor y generar grandes disparidades de tamaño entre los agricultores y sus compradores, tras lo cual concluyen que debe existir un poder compensatorio para estas estructuras de mercado imperfectas, ya sea a través de asociaciones de negociación, ya sea a través de cooperativas de comercialización.

1.2. Factores climáticos, producción y precios

Los factores climáticos inciden en el desempeño productivo del ganado lechero a través de distintas variables climatológicas que terminan afectando las condiciones fisiológicas del animal, como la temperatura ambiente, la radiación solar, la humedad relativa y las precipitaciones, y disminuyendo sus niveles de producción, por lo cual el comportamiento y la salud del ganado están influenciados por el medio ambiente en el cual viven, generando afecciones significativas en su desempeño económico (Balling, 1980; MAFF, 2000). Desde hace años atrás, se reconoce el efecto que ocasiona la temperatura ambiente en el rendimiento de los animales en el ámbito productivo. Una de las consecuencias directas del aumento de esta variable climática en el ganado lechero es el estrés calórico, el cual se produce cuando el incremento en la temperatura ambiental hace que el animal pierda el equilibrio biológico entre la generación del calor metabólico y su disipación al ambiente o termorregulación (González, 2016).

El ganado lechero es particularmente sensible al calor, teniendo diferentes reacciones dada la temperatura: a 26 °C comerá menos, a 32 °C disminuye su producción de leche y cae la tasa de concepción, a 37 °C con una humedad relativa mayor del 80 % corre el riesgo de muerte y a 46,7 °C y humedad menor al 50 % también está en riesgo de muerte (Hahn y Mader, 1997). Como consecuencia del aumento de la temperatura ambiente, el animal disminuye la temperatura corporal y, por consiguiente, aumenta el intercambio con el ambiente externo, busca la sombra y disminuye la actividad física y el consumo de alimento, lo que ocasiona una baja producción de leche entre un 25 y un 30 % (Maust, et al., 1972).

Si bien la temperatura ambiental se conoce como uno de los factores climáticos que genera efectos en el bienestar del ganado, muchas veces se ve afectada por la precipitación (Arias, et al., 2008). Cuando hay temperaturas altas y abundantes precipitaciones, el efecto de las temperaturas en el animal se ve disminuido y permite regular con mayor eficiencia la temperatura corporal, mientras que cuando hay pocas precipitaciones o son casi nulas el efecto en el animal es más fuerte y afecta su bienestar negativamente. Así que, con bajas precipitaciones, el ganado bovino tiene un menor rendimiento que con rangos de precipitaciones adecuados para su producción, tanto por la asociación negativa con la temperatura como por la baja producción de forraje; aunque no exista una asociación directa entre estas variables, un cambio en las precipitaciones los afecta significativamente (Echeverri y Restrepo, 2009).

Las precipitaciones tienen una mayor correlación con los indicadores de ENOS que la temperatura y llegan a disminuir los niveles de producción agrícola, pesquera y pecuaria (Arias et al., 2008). Ratnasiri et al. (2019) en Sri Lanka determinan que para la producción de arroz las variaciones en las precipitaciones mientras la temperatura es constante no generan un cambio notable, y esto se atribuye a la eficiencia y generalización del sistema de riego; no obstante, un aumento de las precipitaciones y las temperaturas, en conjunto, sí causan cambios notables en la producción, y un incremento en las temperaturas y una disminución de las precipitaciones; el primer caso es mayor con una diferencia de casi el 5 % con respecto al segundo.

1.3. Modelos no lineales

Para lograr captar la no linealidad que se presenta en la relación entre las precipitaciones y los precios de la leche, se concentra el análisis en modelos de series de tiempo no lineales, porque en las situaciones extremas de las precipitaciones, la escasez o el exceso de lluvias, ante cambios en las precipitaciones, los precios podrían responder con mayor intensidad que en épocas en que las lluvias se mantienen en un rango ideal para la producción de leche. La estimación de este tipo de modelo proviene de la necesidad de lograr una mayor aproximación a la naturaleza compleja del fenómeno en estudio; las diferentes investigaciones se han concentrado en el análisis de los regímenes de ENOS con énfasis en las asimetrías observadas entre los fenómenos conocidos como El Niño y La Niña, determinando que las autocorrelaciones con estas fases extremas son diferentes (An, 2009) y representan una dinámica no lineal por sus turbulencias climáticas (Hall et al., 2001).

La aplicación del modelo autorregresivo por umbrales (TAR, por sus siglas en inglés) es ampliamente utilizado en la literatura para los eventos ENOS. Ubilava (2012a, 2012b, 2018) y Ubilava y Holt (2013) aplican estos modelos no lineales a diferentes precios de productos agrícolas, para examinar la no linealidad del efecto ENOS sobre la dinámica de los precios del producto en estudio. Un caso es para los precios mundiales del café, en que identifican que el efecto depende de si se presenta El Niño o La Niña y de la clase de café. Sin embargo, los impactos de estas dos fases extremas no son simétricos, porque los precios del café ante El Niño tienen efectos diferentes que ante La Niña (Ubilava, 2012a). En 2013, esto se hace con los principales precios de aceite vegetal en los Estados Unidos, y se encuentra con no linealidades, que Ubilava y Holt (2013) consideran producen las asimetrías históricas específicas en la dinámica de los precios del aceite vegetal bajo diferentes regímenes ENOS. En general, las desviaciones positivas, los eventos de El Niño, resultan en el aumento del precio del aceite vegetal, mientras que las desviaciones negativas, los eventos de La Niña, resultan en disminución de los precios.

Para Colombia, Abril-Salcedo et al. (2019) evalúan la relación entre ENOS y el crecimiento de la inflación de alimentos para el consumidor a través del modelo STAR (por sus siglas en inglés) y la función de impulso respuesta, y logran capturar un aumento en la inflación de alimentos después de cinco a nueve meses del choque fuerte de ENOS. Utilizan como variable de transición tres rezagos de ENOS y un punto de inflexión que indica un ENOS alto, lo cual manifiesta que los cambios más importantes que ocurren en el crecimiento de la tasa de inflación de alimentos ocurre cuando la dinámica de ENOS representa fuerte intensidad de El Niño.

1.4. Efectos del tiempo sobre los precios según la estructura del mercado lácteo

Se pueden identificar dos estructuras en este estudio según la cantidad de vendedores y compradores que tenga la leche cruda. Por un lado, se tiene la estructura en competencia y, por otro, la estructura con regulación en los precios. En el primer caso, se conoce que hay distintos productores de leche cruda en finca y diversos compradores, como los de las industrias, intermediarios, asociaciones y otros, mientras que en la estructura con el precio regulado tienen diversos productores y pocos compradores que corresponden a las industrias procesadoras.

Además, el precio se encuentra regulado por una resolución del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Minagricultura), en que el pago a los productores está basado en la calidad e higiene de la leche. Se ha argumentado que este tipo de estructura caracteriza el mercado lácteo del departamento del Atlántico (Lombana, 2012; Ramos, 2008).

Siguiendo los trabajos de Chen y Lent (1992) y Weldegebriel (2004), se conoce que el porcentaje de cambio en los precios de insumos agrícolas por un choque de oferta exógeno va a ser diferente en las estructuras de mercado debido a un factor diferenciador: cambio en precio *markdown*³ por variaciones en el choque de oferta exógeno, coeficiente que se encuentra presente en mercados con estructuras oligopsónicas, pero no en las de competencia. Como en la estructura en competencia hay muchos competidores, se pierde el poder que ejercen sobre los precios, y como en la estructura oligopsónica son pocos los competidores, pueden ajustar el precio de acuerdo con las decisiones que suponen van a tomar los otros competidores ante un choque de oferta exógeno.

Por tanto, la proporción en la que cambian los precios por choques de oferta climáticos, siendo específicamente para nuestro caso las variaciones en las precipitaciones por situaciones extremas de ENOS, pueden resultar diferentes en cada estructura de mercado considerada, ya que el marco del beneficio que tienen los compradores por el poder que se ejerce en el precio de la leche en el mercado oligopsónico puede compensar el choque de oferta exógeno, mientras que en el mercado en competencia no hay espacio para que los compradores ejerzan poder por la cantidad de competidores y se esperaría que los choques de oferta exógeno afecten en mayor medida los precios pagados al productor.

2. Datos

Para la investigación, se utilizan series de tiempo de periodicidad mensual de los precios de la leche para el departamento del Atlántico, como también las precipitaciones promedio para esta misma región desde enero de 2013 a diciembre de 2019; se hace uso de las precipitaciones y no de la temperatura de la superficie del mar (SST, por sus siglas en inglés), como en la mayoría de los estudios, para tener

³ La desviación porcentual del valor marginal de los insumos agrícolas del costo de factor marginal.

una medida del choque climático más específica de la región a tratar. En la tabla 1, se resumen las variables utilizadas, su origen y unidad de medida.

Tabla 1. Descripción de variables

Símbolo	Variable	Descripción y origen
Pf_t	Precio de leche en finca	Precio real pagado al productor por litro de leche en finca sin regulaciones (\$/L), SIPSA
Pbv_t	Precio de leche con bonos voluntarios	Precio real pagado al productor por litro de leche con bonos voluntarios con regulaciones (\$/L), USP
$Precip_t$	Precipitaciones	Precipitaciones promedio (mm), Ideam
	IPC	Índice de precios al consumidor 2018, DANE

Nota: La descripción de las variables corresponden a los datos del objeto en estudio: departamento del Atlántico. Los precios están expresados en pesos colombianos por litro y precipitaciones en milímetros de agua.

IPC: índice de precios al consumidor; SIPSA: Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario; USP: Unidad de Seguimiento de Precios de Leche; Ideam: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Fuente: elaboración propia según datos de Ideam, SIPSA y USP.

Para el análisis se usan dos series de precios de leche cruda, cada una de las cuales refleja mercados diferentes. Las cuales se describen a continuación.

2.1. Precio pagado en finca al productor primario

La información de los precios de la leche pagado al productor en estructura de mercado en competencia es suministrada por el SIPSA, por municipios, promediando esta información para obtener el dato agregado departamental. Esta serie fue deflactada con el IPC 2018 para obtener los precios reales, y así no capturar el efecto de inflación de precios por causa del fenómeno de El Niño en la economía, que no solo se da en precios de alimentos, sino también en distintos sectores (Caicedo, 2007). A continuación, se transforma la serie en logaritmo natural, así que los cambios son expresados desde el punto de vista del porcentaje.

En esta serie, se revelan los precios pagados al productor en finca por las industrias procesadoras, los intermediarios, las asociaciones y otros, considerándola como una

estructura en competencia, porque, como se mencionó, tiene presencia de diversos compradores y vendedores, y no hay fijadores de precios.

2.2. Precio pagado por la industria procesadora al productor

La información de esta serie proviene de la USP por departamento, el precio registrado corresponde al pagado al productor primario solo por las industrias procesadoras, que incluye bonos voluntarios en el departamento del Atlántico. Es deflactada con el IPC 2018, para obtener los precios en niveles sin el efecto inflacionario. Posteriormente, la serie es transformada en logaritmos naturales y se obtienen los datos finales para realizar las estimaciones.

Los precios de leche pagados al productor con bonos voluntarios se entienden como estructura con precios regulados, porque tienen solo como mercado de venta las industrias lácteas. El precio pagado se encuentra regulado por el Minagricultura con una resolución emitida desde 2007, que ha sido actualizada a lo largo del tiempo, cuya última actualización fue en 2012, en la cual emitió que el precio pagado al productor depende de la calidad composicional e higiénica y de las bonificaciones obligatorias y voluntarias, que pueden convertirse en descuentos por condiciones negativas de la leche, en temas de higiene por la cantidad de bacterias o unidades formadoras de colonia (UFC), y por el descuento en el costo de transporte. Por tal razón, al analizar la resolución a la que se encuentra sometida el precio de la leche pagado al productor con bonos voluntarios, se identifica la regulación de precio por parte del comprador.

A lo largo del tiempo, se puede contrastar en la figura 1, en épocas de El Niño, en que hay precipitaciones bajas, los aumentos en los precios de la leche pagada en finca se dan en mayor proporción que el aumento mostrado en meses de sequía a lo largo del año en el departamento del Atlántico, como respuesta a la mayor intensidad con la que se presenta el choque climático, en que se aprecia que el efecto se evidencia en periodos posteriores a la anomalía climática. En los precios regulados, los efectos tienen un comportamiento inverso al del mercado en competencia en las épocas de escasez de precipitaciones como resultado de El Niño fuerte, pero también presentándose en periodos posteriores.

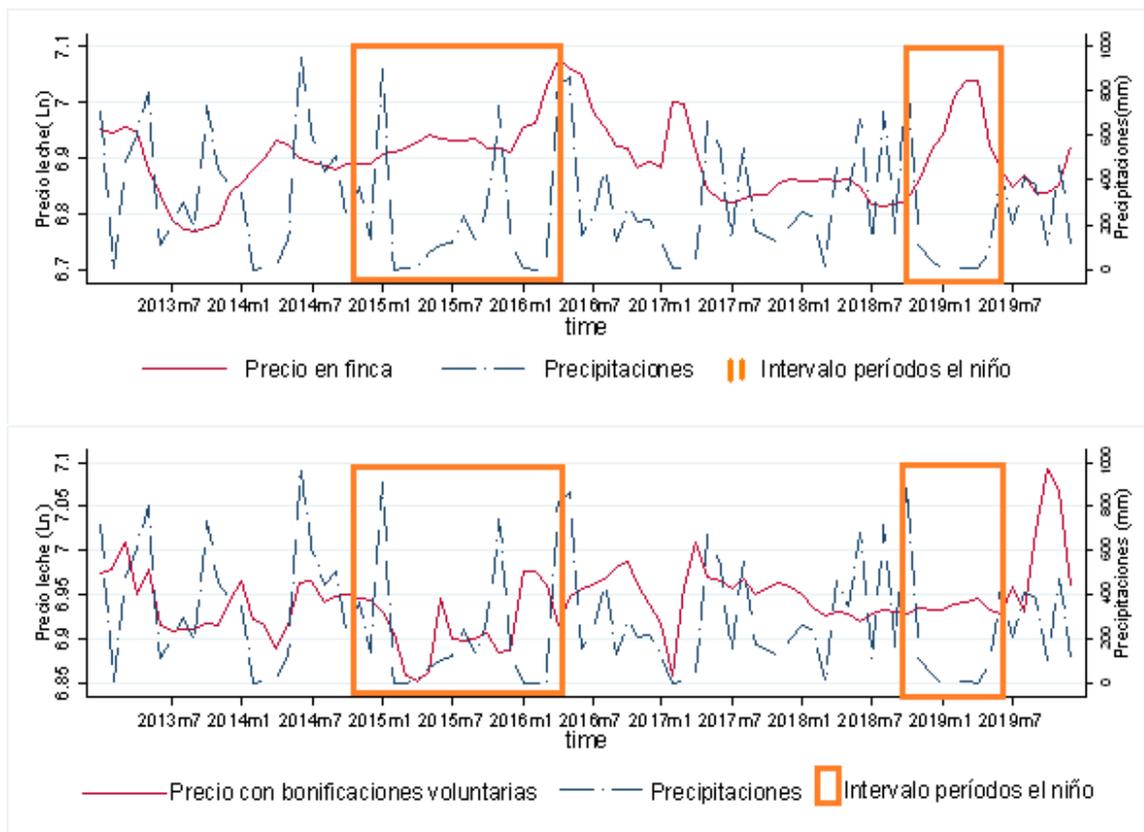


Figura 1. Dinámica de los precios de la leche y precipitaciones.

Fuente: elaboración propia según datos de Ideam, SIPSA y USP.

3. Modelación y estimación

El enfoque econométrico considerado para investigar las relaciones dinámicas no lineales entre las precipitaciones y los precios de la leche cruda es el modelo TAR, que permite analizar asimetrías dentro y entre precipitaciones y precios de la leche cruda.

Por esta razón, se usa como punto de partida un modelo lineal para los precios reales de la leche transformados en logaritmo, tanto en los precios en finca que representan una estructura con mayor competencia, Pf_t , como en los precios con bonificaciones voluntarias que representan una estructura de precios regulados, Pbv_t , explicados por la variable climática exógena precipitaciones, $Precip_t$. El primer paso es conocer el grado de integración para las series de tiempo con la prueba de Dickey-Fuller,

teniendo que la especificación lineal de Pf_t , Pbv_t y $Precip_t$ presentan integración de orden cero. Así, la estimación lineal de las series de tiempo es un proceso autorregresivo con variables *dummy* estacionales:

$$Pf_t = \alpha_1 + \sum_{s=1}^{11} \alpha_s D_{st} + \sum_{i=1}^p \phi_i Pf_{t-p} + \vartheta_t \quad (1)$$

$$Pbv_t = \alpha_2 + \sum_{s=1}^{11} \alpha_s D_{st} + \sum_{i=1}^p \phi_i Pbv_{t-p} + \vartheta_t \quad (2)$$

$$Precip_t = \alpha_3 + \sum_{s=1}^{11} \alpha_s D_{st} + \sum_{i=1}^{p=3} \beta_i Precip_{t-p} + \vartheta_t \quad (3)$$

Siendo D_{st} una variable *dummy* mensual, p el rezago seleccionado para la serie, de tal manera que mitigue cualquier correlación serial en ϑ_t , así $\vartheta_t \sim iid(0, \sigma_t^2)$. Para la serie de precio en finca, el rezago seleccionado fue $p = 3$, y $p = 2$ para la serie de precios con bonos voluntarios.

Posteriormente, se aplica el siguiente modelo lineal autorregresivo para Pf_t :

$$Pf_t = \delta_0 + \sum_{s=1}^{11} \alpha_s D_{st} + \sum_{j=0}^3 n_j Precip_{t-j} + \sum_{i=1}^3 \phi_i Pf_{t-i} + e_t \quad (4)$$

Y Pbv_t :

$$Pbv_t = \delta_1 + \sum_{s=1}^{11} \alpha_s D_{st} + \sum_{j=0}^3 n_j Precip_{t-j} + \sum_{i=1}^2 \phi_i Pbv_{t-i} + e_t \quad (5)$$

Donde los rezagos seleccionados para las series (p) mitigan cualquier correlación serial en e_t , siendo así $e_t \sim iid(0, \sigma_t^2)$. Las ecuaciones (4) y (5) son un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL, por sus siglas en inglés) aumentado con las variables *dummy* estacionales, en que las precipitaciones se asumen como la variable débilmente exógena para explicar los precios de la leche, tanto en la estructura de mercado en competencia como en la estructura de precios regulados.

Luego de estimar las regresiones del modelo lineal, se encuentra que, en el modelo de rezagos distribuidos aumentados, la variable exógena, precipitaciones, no explica los precios en ninguna de las dos series de estos. Posteriormente, se busca identificar y estimar de esta manera un modelo no lineal, perteneciente a la familia de modelos TAR. En síntesis, se propone un modelo en que los umbrales dependen de la realización de la variable precipitaciones rezagada, que explica el traspaso de las variaciones de las precipitaciones a los precios de la leche tanto en competencia como con regulación de precios. La ecuación (6) plantea lo expresado para los precios de leche en competencia:

$$Pf_t \left\{ \begin{array}{l} \left(\phi_0 + \sum_{i=1}^2 \phi_i Pf_{t-i} + \sum_{i=1}^1 n_i Precip_{t-i} + \sigma_1 e_t, \text{ si } Precip_{t-d} \leq r, \right) \\ \left(\phi_0 + \sum_{i=1}^2 \phi_i Pf_{t-i} + \sum_{i=1}^1 n_i Precip_{t-i} + \sigma_1 e_t, \text{ si } Precip_{t-d} > r \right) \end{array} \right\} \quad (6)$$

Donde $Precip_{t-d}$ es la variable que define el umbral, d representa el retraso a través de un número entero, siendo $d > 0$, para este caso $d = 1$; r es el valor del umbral que delimita el cambio de escenario, y ϕ_i y n_j son los coeficientes de regresión para los precios y las precipitaciones, respectivamente, que indica el grado de *pass-through* de cada escenario.

Y la ecuación (7) para los precios de leche con una estructura de mercado con precios regulados:

$$Pbv_t \left\{ \begin{array}{l} \left(\phi_{0,1} + \sum_{i=1}^1 \phi_i Pbv_{t-i} + \sum_{i=1}^1 n_i Precip_{t-i} + \sigma_1 e_t, \text{ si } Precip_{t-d} \leq r_1, \right) \\ \left(\phi_{0,2} + \sum_{i=1}^1 \phi_i Pbv_{t-i} + \sum_{i=1}^1 n_i Precip_{t-i} + \sigma_1 e_t, \text{ si } r_1 < Precip_{t-d} \leq r_2, \right) \\ \left(\phi_{0,3} + \sum_{i=1}^1 \phi_i Pbv_{t-i} + \sum_{i=1}^1 n_i Precip_{t-i} + \sigma_1 e_t, \text{ si } r_2 < Precip_{t-d} \right) \end{array} \right\} \quad (7)$$

Donde $Precip_{t-d}$ es la variable que define el umbral, d representa el retraso a través de un número entero, siendo $d > 0$, para este caso $d = 3$; r_1 y r_2 son los valores del umbral que delimitan el cambio de escenario, y ϕ_i y n_j son los coeficientes de regresión para los precios y las precipitaciones, respectivamente, que indica el grado de *pass-through* de cada escenario (tabla 2).

Tabla 2. Estimación del modelo TAR según estructura de mercado

Estructura de mercado sin regulación en precios		Estructura de mercado con regulación en precios	
Variable de umbral = $Precip_{t-1}$		Variable de umbral = $Precip_{t-3}$	
Orden	Umbral SSR	Orden	Umbral SSR
1	1,8 0,0516	1	210 0,0503
		2	131 0,0640

Precio de leche en finca	Coficiente	Precio de leche con bonos voluntarios	Coficiente
Región 1		Región 1	
Precio de leche en finca		Precio de leche con bonos voluntarios	
L1.	<u>1,3806***</u> (0,2802)	L1.	<u>0,4825605***</u> (0,1482)
L2.	<u>-0,6775***</u> (0,2563)		
Precipitaciones		Precipitaciones	
L1.	<u>-0,0546***</u> (0,0131)	L1.	<u>0,0000203</u> (0,00002)
Constante	<u>2,0994</u> (1,3714)	Constante	<u>3,585383***</u> (1,0271)
Región 2		Región 2	
Precio de leche en finca		Precio de leche con bonos voluntarios	
L1.	<u>1,3052***</u> (0,1089)	L1.	<u>1,577446***</u> (0,1075)
L2.	<u>-0,4866***</u> (0,1033)		
Precipitaciones		Precipitaciones	
L1.	<u>-7,14e-06</u> (0,000012)	L1.	<u>0,0000873**</u> (0,00004)
Constante	<u>1,2516 ***</u> (0,3289)	Constante	<u>-4,02969***</u> (1,5326)
		Región 3	
		Precio de leche con bonos voluntarios	
		L1.	<u>0,5140492***</u> (0,9822)
		Precipitaciones	
		L1.	<u>-0,0000251</u> (0,00002)
		Constante	<u>3,379691***</u> (0,6815)

Nota: Los asteriscos ***, ** y * denotan la significancia estadística a niveles de $\alpha = 0,01$, $\alpha = 0,05$ y $\alpha = 0,10$. Los valores entre paréntesis son las desviaciones estándar.

Fuente: elaboración propia según datos de Ideam, SIPSA y USP.

4. Resultados y discusión

Luego de considerar TAR como el mejor modelo para capturar las anomalías de las precipitaciones en los precios de la leche según la estructura de mercado, se obtienen los resultados no muy alejados de las consideraciones realizadas, tras lo cual se obtienen resultados diferentes cuando se trata de una estructura de mercado en competencia frente a una estructura que presenta regulación de precios.

Por un lado, en un mercado con estructura en competencia, se utiliza como variable de umbral el primer rezago de las precipitaciones, $Precip_{t-1}$. Cuando $Precip_{t-1}$ disminuye en un 1 % por debajo de 1,8 mm, la tasa de crecimiento del precio pagado al productor aumenta en un 5 %, existiendo una relación negativa entre precipitaciones y precios. Al presentarse el cambio de escenario y $Precip_{t-1} > 1,8$, una disminución en las precipitaciones por encima de 1,8 mm no genera ningún efecto en los precios de la leche pagados al productor. En las figuras 2 y 3, se puede apreciar que el 10 % de las precipitaciones están por debajo del valor de umbral 1,8 mm, y cuando El Niño se presenta en su modalidad fuerte, según la NOAA, el índice de El Niño oceánico (ONI, por sus siglas en inglés) es mayor de 1,5 y muy fuerte por encima de 1,9, las precipitaciones promedio son de 182 mm y el 50 % de estas están por debajo de 122 mm, por tal razón el umbral obtenido está relacionado con El Niño fuerte y genera la relación inversa con precipitaciones menores de 1,8 mm.

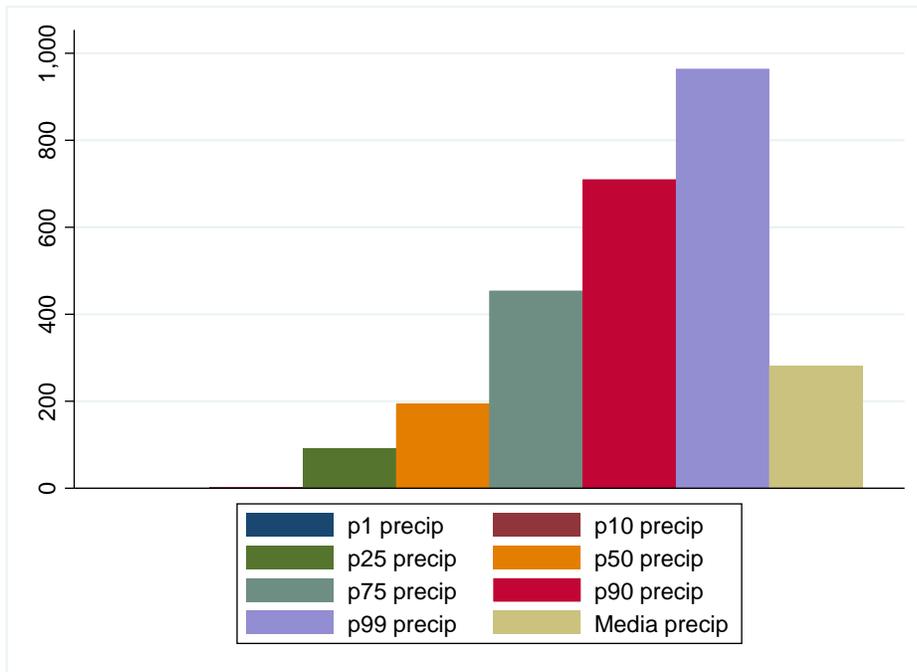


Figura 2. Distribución de las precipitaciones

Fuente: elaboración propia según datos de Ideam

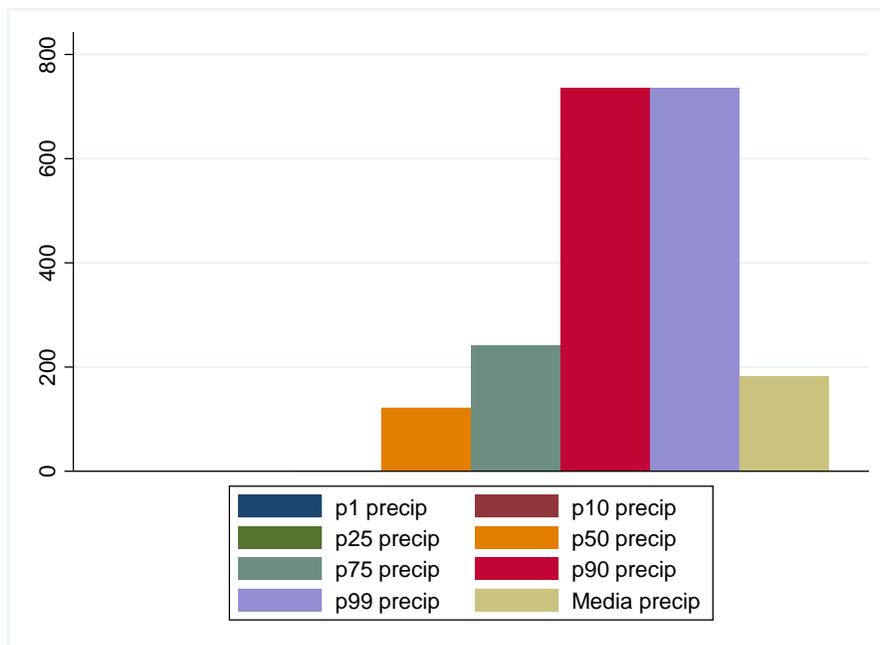


Figura 3. Distribución de precipitaciones con El Niño fuerte ($ONI \geq 1,5$)

Fuente: elaboración propia según datos de Ideam.

Por otra parte, en un mercado con precios regulados, se utiliza como variable de umbral el primer rezago de las precipitaciones, $Precip_{t-3}$; estimando dos umbrales con el criterio de información de Akaike (AIC), el primero umbral para $Precip_{t-3}$ es 210 mm y el segundo 131 mm. Cuando $Precip_{t-3}$ es mayor de 210 mm y menor o igual a 131 mm, ante una variación del 1 % en las precipitaciones, los precios pagados a los productores de leche con bonificaciones voluntarias y obligatorias varían en una magnitud porcentual muy pequeña; sin embargo, se logra apreciar la relación directa que existe entre las precipitaciones y los precios pagados al productor, explicado, en cierta medida, por la regulación de los precios desde el punto de vista de la calidad. Se considera que la pequeña variación en los precios regulados pagados al productor se da porque los umbrales son unos valores altos que manifiestan presencia de lluvias, y una variación en ese rango va a generar cambios irrelevantes.

En contraste, se puede identificar que, en la estructura de mercado en competencia, las anomalías en las precipitaciones como consecuencia del fenómeno de El Niño generan cambios significativos en los precios a causa de la falta de poder que pueden ejercer los compradores de la leche dado que son varios. Mientras que, en el mercado con precios regulados, los efectos de las precipitaciones son insignificantes, y se le atribuye al marco de beneficio que pueden recibir los compradores al ser unos pocos, y en el caso de la industria láctea del departamento del Atlántico, solo corresponden a las empresas procesadoras de leche.

5. Conclusiones

La dinámica de las precipitaciones se caracteriza por explicar la no linealidad a través de un modelo TAR, utilizando las precipitaciones como variable de umbral. Por tanto, los umbrales dependen de la realización de las precipitaciones en periodos anteriores, y el comportamiento no lineal busca ser explicado por las variaciones extremas de las precipitaciones en los precios de la leche, según la estructura de mercado.

Los resultados son importantes por distintas razones. Primero, la utilización del modelo econométrico no lineal TAR se ajusta para entender la dinámica de los

precios en función de las precipitaciones, explicando que la relación entre estas variables se presenta en épocas de El Niño fuerte y muy fuerte, en que hay pocas precipitaciones. En segundo lugar, las estructuras de mercado tienen respuestas distintas cuando se presentan los cambios extremos en las precipitaciones como consecuencia del fenómeno de El Niño. Por un lado, en la estructura de mercado en competencia cuando hay bajas precipitaciones, aumenta el precio, y en el mercado de precios regulados hay una relación directa, pero no resulta significativo estadísticamente para valores de umbrales de precipitaciones promedio. Por tanto, la relación de la variable exógena, precipitaciones, con la dinámica de los precios, resulta teniendo una relación inversa con los precios pagados al productor en competencia cuando hay ENOS extremo, y una relación aparentemente directa, pero insignificante en los precios regulados pagados al productor cuando hay precipitaciones promedio.

Por otro, en atención a que con bajas precipitaciones el ganado bovino tiene una desmejora en su rendimiento (Echeverri y Restrepo, 2009) y con altas temperaturas la cantidad de leche producida disminuye (Hahn y Mader, 1997), se puede entender que el precio pagado al productor en el mercado de precios regulados por la calidad e higiene se ve afectado negativamente porque la calidad de leche puede disminuir en esta época, recibiendo los productores un precio más bajo que en la estructura de mercado en competencia; sin embargo, la estimación del modelo TAR indica estadísticamente que, en situaciones de precipitaciones por debajo y encima del promedio, los precios no cambian en una magnitud importante, por lo que se considera no se afecta la calidad de la leche como se esperaba, debido en parte a las bonificaciones obligatorias y voluntarias que reciben los productores de leche. Sin embargo, hay que considerar que los valores de los umbrales de las precipitaciones en esta estructura de mercado son altos.

Por último, se sabe que el sector agropecuario es uno de los más susceptibles a los choques climáticos, pese a ello no se había aplicado un estudio no lineal para estimar los efectos exógenos de choques climáticos en los precios de la leche del departamento del Atlántico, una de las regiones más afectadas por las anomalías de ENOS, dada su cercanía al epicentro, por lo que el trabajo contribuye al entendimiento de variaciones climáticas en el sector lácteo.

Referencias

Abril-Salcedo, D. S., Melo-Velandia, L. F. y Parra-Amado, D. (2016). Impactos de los fenómenos climáticos sobre el precio de los alimentos en Colombia. *Ensayos sobre Política Económica*, 34(80), 146-158. <https://doi.org/10.1016/j.espe.2016.03.003>

Abril-Salcedo, D. S., Melo-Velandia, L. F. y Parra-Amado, D. (2019). Nonlinear relationship between the weather phenomenon El Niño and Colombian food prices. *Borradores de Economía*, 1085. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12394>

An, S. I. (2009). A review of interdecadal changes in the nonlinearity of the El Niño-Southern Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 97(1), 29-40. doi:10.1029/2004GL021699

Arias, R. A., Mader, T. L. y Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(1), 7-22. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002>

Ávila Montes, C. (2016). *Impacto del clima sobre los precios de los alimentos en Colombia: un estudio a nivel desagregado* (Tesis de grado, Universidad de los Andes). <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18033/u728448.pdf?sequence=1>

Balling RC Jr. 1980. An assessment of the impact of weather conditions on feedlot cattle performance. *Center for Agricultural Meteorology and Climatology. University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE. CAMaC Progress report 80-3.*

Bejarano-Salcedo, V., Caicedo-García, E., Lizarazo-Bonilla, N. F., Julio-Román, J. M., Cárdenas-Cárdenas, J. A. y Julio-Román, J. M. (2020). Hechos estilizados de la relación entre El Niño, La Niña y la inflación en Colombia. *Borradores de Economía*, 1105. <https://repositorio.banrep.gov.co/handle/20.500.12134/9811>

Bejarano-Salcedo, V., Cárdenas-Cárdenas, J. A., Julio-Román, J. M. y Caicedo-García, E., (2020). Entendiendo, modelando y pronosticando el efecto de El Niño sobre los precios de los alimentos: el caso colombiano. *Borradores de Economía*, 1102. <https://repositorio.banrep.gov.co/handle/20.500.12134/9807>

Cai, W., Santoso, A., Wang, G., Yeh, S.-W., An, S.-I., Cobb, K. M., Collins, M., Guilyardi, E., Jin, F.-F., Kug, J.-S., Lengaigne, M., McPhaden, M. J., Takahashi, K.,

Timmermann, A., Vecchi, G., Watanabe, M. y Wu, L. (2015). ENOS and greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 5(9), 849-859.

Chen, Z. y Lent, R. (1992). Supply analysis in an oligopsony model. *American Journal of Agricultural Economics*, 74(4), 973-979.
<https://onlinelibrary.wiley.com/journal/14678276>

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2015, 29 de abril). *Cuentas anuales departamentales - Colombia producto interno bruto (PIB) 2012 definitivo y 2013 provisional*. shorturl.at/q0245

Echeverri Zuluaga, J. J. y Restrepo, L. F. (2009). Efecto meteorológico sobre la producción y calidad de la leche en dos municipios de Antioquia, Colombia. *Revista Lasallista de Investigación*, 6(1), 50-57.
<https://www.redalyc.org/pdf/695/69514350008.pdf>

Granger, C. W. J. (ed.) (1991). *Modelling economic series: Readings in econometric methodology*. Oxford University Press.

González Rivas, P. (2018). Estrés por calor en el ganado de leche y carne: monitorización, control y manejo nutricional. *Albéitar: publicación veterinaria independiente*, (219), 14-16.

Hall, A. D., Skalin, J. y Teräsvirta, T. (2001). A nonlinear time series model of El Niño. *Environmental Modelling & Software*, 16(2), 139-146. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(00\)00077-3](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(00)00077-3)

Hahn, G. L. y Mader, T. L. (1997). Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. En *Livestock environment V: Proceedings of the fifth international symposium: Hotel Sofitel Minneapolis, Bloomington, Minnesota, May 29-31, 1997*. American Society of Agricultural Engineers.

Just, R. E. y Chern, W. S. (1980). Tomatoes, technology, and oligopsony. *The Bell Journal of Economics*, 11(2), 584-602. <https://doi.org/10.2307/3003381>

Lee, H. L. (2009). The impact of climate change on global food supply and demand, food prices, and land use. *Paddy and Water Environment*, 7(4), 321-331. <https://doi.org/10.1007/s10333-009-0181-y>

Lombana Coy, J. (ed.) (2012). *Caracterización del sector ganadero del Caribe colombiano*. Universidad del Norte. <http://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/1183#page=1>

Maust, L. E., McDowell, R. E. y Hooven, N. W. (1972). Effect of summer weather on performance of Holstein cows in three stages of lactation. *Journal of Dairy Science*, 55(8), 1133-1139. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(72\)85635-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(72)85635-2)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s. f.). *Fenómeno de El Niño ya está impactando Colombia*. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/4234-el-fenomeno-de-el-nino-ya-esta-impactando-colombia-minambiente>.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (2000). Climate change and agriculture in the United Kingdom. *PB4876. Summary A4*.

Montealegre Bocanegra, J. E. (2014). *Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del Ideam sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021895/InformeFinalElNiNo.pdf>

Pabón, J. D. y Torres, G. (2007). Impacto socioeconómico de los fenómenos El Niño y La Niña en la sabana de Bogotá durante el siglo XX. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 16, 81-94. <https://www.redalyc.org/pdf/2818/281821949008.pdf>

Puertas Orozco, O. L. y Carvajal Escobar, Y. (2008). Incidencia de El Niño: oscilación del sur en la precipitación y la temperatura del aire en Colombia utilizando el Climate Explorer. *Ingeniería & Desarrollo*, 23, 104-118. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612008000100009

Ramos Ruiz, J. L. (2008). *Modalidades organizativas de los encadenamientos productivos en países de economías emergentes: el caso del sector lácteo del Caribe colombiano* (Tesis

doctoral, Universitat Politècnica de València).
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1876/tesisUPV2453.pdf>

Ratnasiri, S., Walisinghe, R., Rohde, N. y Guest, R. (2019). The effects of climatic variation on rice production in Sri Lanka. *Applied Economics*, 51(43), 4700-4710. <https://doi.org/10.1080/00036846.2019.1597253>

Reca, L. G. (1969). Precios y áreas sembradas con algodón en la provincia del Chaco, 1938-1968. *Desarrollo Económico*, 9(35), 387-397. <https://doi.org/10.2307/3466025>

Rogers, R. T. y Sexton, R. J. (1994). Assessing the importance of oligopsony power in agricultural markets. *American Journal of Agricultural Economics*, 76(5), 1143-1150. <https://doi.org/10.2307/1243407>

Sáenz-Segura, F., D'Haese, M. y Schipper, R. A. (2010). A seasonal model of contracts between a monopsonistic processor and smallholder pepper producers in Costa Rica. *Agricultural systems*, 103(1), 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.08.002>

Schlenker, W. y Roberts, M. J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 106(37), 15594-15598. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906865106>

Sharma, P., Humphreys, J. y Holden, N. M. (2018). The effect of local climate and soil drainage on the environmental impact of grass-based milk production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(1), 26-40. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1302-2>

Smith, M. D., Oglend, A., Kirkpatrick, A. J., Asche, F., Benneer, L. S., Craig, J. K. y Nance, J. M. (2017). Seafood prices reveal impacts of a major ecological disturbance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7), 1512-1517. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617948114>

Stürmer, M., Busanello, M., Velho, J. P., Heck, V. I. y Haygert-Velho, I. M. P. (2018). Relationship between climatic variables and the variation in bulk tank milk composition using canonical correlation analysis. *International Journal of Biometeorology*, 62(9), 1663-1674. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1566-7>

Tao, F., Zhang, Z. y Yokozawa, M. (2011). Dangerous levels of climate change for agricultural production in China. *Regional Environmental Change*, 11(1), 41-48. <https://doi.org/10.1007/s10113-010-0159-8>

Teräsvirta, T. (1994). Specification, estimation, and evaluation of smooth transition autoregressive models. *Journal of the American Statistical Association*, 89(425), 208-218. <https://doi.org/10.1080/01621459.1994.10476462>

Terasvirta, T. y Anderson, H. M. (1992). Characterizing nonlinearities in business cycles using smooth transition autoregressive models. *Journal of Applied Econometrics*, 7(S1), S119-S136. <https://doi.org/10.1002/jae.3950070509>

Tsay, R. S. y Chen, R. (2018). *Nonlinear time series analysis*. John Wiley & Sons.

Ubilava, D. (2012a). El Niño, La Niña, and world coffee price dynamics. *Agricultural Economics*, 43(1), 17-26. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2011.00562.x>

Ubilava, D. (2012b). Modeling nonlinearities in the US soybean-to-corn price ratio: A smooth transition autoregression approach. *Agribusiness*, 28(1), 29-41. <https://doi.org/10.1002/agr.20292>

Ubilava, D. (2018). The role of El Nino Southern Oscillation in commodity price movement and predictability. *American Journal of Agricultural Economics*, 100(1), 239-263. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1093/ajae/aax060>

Ubilava, D. y Holt, M. (2013). El Niño southern oscillation and its effects on world vegetable oil prices: Assessing asymmetries using smooth transition models. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 57(2), 273-297. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.2012.00616.x>

Weldegebriel, H. T. (2004). Imperfect price transmission: Is market power really to blame? *Journal of Agricultural Economics*, 55(1), 101-114. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2004.tb00082.x>

Yates, D. N. y Strzepek, K. M. (1998). An assessment of integrated climate change impacts on the agricultural economy of Egypt. *Climatic Change*, 38(3), 261-287. <https://doi.org/10.1023/A:1005364515266>

Anexos

Tabla A. Prueba raíces unitarias serie Pf_t

Prueba de raíces unitarias: Dickey-Fuller aumentado				
	Valores test estadístico	1pct	5pct	10pct
tau2	-3,69	-3,51	-2,89	-2,58
phi1	6,84	6,70	4,71	3,86

Fuente: elaboración propia según datos de SIPSA.

Tabla B. Prueba raíces unitarias serie Pbv_t

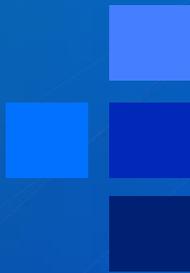
Prueba de raíces unitarias: Dickey-Fuller aumentado				
	Valores test estadístico	1pct	5pct	10pct
tau2	-4,62	-3,51	-2,89	-2,58
phi1	10,66	6,70	4,71	3,86

Fuente: elaboración propia según datos de USP.

Tabla C. Prueba raíces unitarias serie $Precip_t$

Prueba de raíces unitarias: Dickey-Fuller aumentado				
	Valores test estadístico	1pct	5pct	10pct
tau2	-5,15	-3,51	-2,89	-2,58
phi1	13,28	6,70	4,71	3,86

Fuente: elaboración propia según datos de Ideam.



El Instituto de Estudios Económicos del Caribe (IEEC) fue creado en 2003 para adelantar en la Universidad del Norte las actividades de docencia e investigación en el campo de la Economía, así como cursos especiales y de posgrado. Además, el IEEC lleva a cabo proyectos de investigación con énfasis en el estudio de problemas atinentes a la Costa Caribe.

El IEEC tiene como una de sus prioridades la difusión de sus investigaciones y ensayos mediante la publicación de libros y, especialmente, de su serie *Documentos*. De esta manera, el IEEC aspira a contribuir a la discusión pública de los más significativos problemas que afectan a nuestra sociedad.