

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

**María Lucía Martínez Martínez**

**Tutor**

**PhD. Andrés Mauricio Vargas Pérez**

**Trabajo de investigación para obtener el título de Magister en Economía.**

**Universidad del Norte  
Departamento de Economía  
Maestría en Economía  
Barranquilla, Atlántico.**

**2020**

## RESUMEN

Las anomalías climáticas pueden considerarse choques de oferta exógeno que ocasionan cambios en los precios dependiendo de la estructura de mercado. En esta investigación 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 autoregresivo 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 5%.

## 1. Introducción

La precipitación es uno de los fenómenos atmosféricos más notables, esta puede ser afectada por fenómenos climáticos, tal es el caso de El Niño-Oscilación del Sur, ENSO por sus siglas en inglés. ENSO 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 ENSO, en su etapa de el niño, está asociado a la disminución de las lluvias y 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. (An, 2001; Bejarano et al., 2020a; Bejarano et al., 2020b; Escobar, 2008; Hall et al., 2009; Salcedo, D. S. A, et al, 2019; Ubilava, 2012a; Ubilava, 2013; Ubilava, 2018).

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 Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos, ONAA por sus siglas en inglés, los últimos acontecimientos de fenómenos del niño ocurrieron entre noviembre del 2014 a mayo de 2016 y de octubre de 2018 a junio de 2019, presentándose rangos de precipitaciones muy bajos o incluso nulos por periodos de tiempo más prolongados que en épocas de verano sin el fenómeno del niño.

El recurso hídrico se ve afectado por la fase de el niño, generando sequías que repercuten en distintas actividades productivas que suelen presentar dependencia de la lluvia, tal es el caso de las actividades agropecuarias, donde se genera 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. Para el caso específico de la producción de leche, por las altas temperaturas y pocas precipitaciones, los animales entran en estrés calórico (González, P 2016), 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; MAFF 2000). Sin embargo, la literatura identifica que los efectos en los precios de un bien, dado un choque de oferta exógeno, tal 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; Ubilava, 2013; Ubilava, 2018).

En este sentido, el aporte del estudio 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, donde 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, permitiendo la interacción de las variaciones climáticas extremas y normales con los precios. Por lo anterior, es planteada 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 de esta introducción; el segundo componente presenta la revisión de la literatura en materia de las estructuras de mercado, la relación de precipitaciones con los precios y los modelos de no linealidad; la tercera sección se realiza un análisis descriptivo de la transmisión de los precios; como cuarta parte se expone la descripción de los datos a utilizar, seguida de la modelación de la metodología usada; en la sexta sección se presenta los resultados y finalmente las conclusiones.

## **2. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

### **2.1 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, equilibrio y ganancias del productor. Tal es el caso de Weldegebriel (2004), al comprobar que choques de oferta exógenos generan efectos en el porcentaje de cambio en los precios de insumos agrícolas; utiliza un modelo de transmisión de precios para capturar su objetivo, logrando determinar las elasticidades de transmisión de precios para los insumos agrícolas, encontrando 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 oligopsónica (muchos vendedores y pocos compradores con poder de mercado).

Por otra parte, el trabajo de Chen y Lent (1992) muestra que, cambios en la oferta de un mercado agrícola ocasiona diferentes comportamientos en la estructura de mercado monopsónica, oligopsónica y en competencia perfecta, porque la respuesta de cada estructura depende de la percepción del comportamiento de los competidores, haciendo 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) en su trabajo, 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, generando grandes disparidades de tamaño entre los agricultores y sus compradores, concluyen que debe existir un poder compensatorio para estas estructuras de mercado imperfectas, ya sea a través de asociaciones de negociación o cooperativas de comercialización.

## **2.2 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, tales como la temperatura ambiente, radiación solar, la humedad relativa y las precipitaciones, disminuyendo sus niveles de producción. Por lo cual, el comportamiento y la salud del ganado están influenciados por el medioambiente en el cual viven, generando afecciones significativas en el desempeño económico del mismo (Balling 1980; MAFF 2000). Desde hace años atrás, se reconoce el efecto que genera la temperatura ambiente en el rendimiento de los animales a nivel 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 a 80%, corre el riesgo de muerte, mientras que a 46.7°C y humedad menor a 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, disminuye la actividad física y el consumo de alimento, lo que ocasiona una baja producción de leche, hasta en un 25 a 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, afectando 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. (Zuluaga y Restrepo, 2009).

Las precipitaciones tienen una mayor correlación con los indicadores de ENSO que la temperatura, llegando a disminuir los niveles de producción agrícola, pesquera y pecuaria (Escobar, 2008). Sin embargo, Ratnasiri, et al., (2018) en Sri Lanka, determinan que para la producción de arroz, 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 generan cambios notables en la producción; y aumento en las temperaturas y disminución de las precipitaciones también, siendo mayor el primer caso con una diferencia de casi el 5% con respecto al segundo.

### **2.3 Modelos no lineales**

Para lograr captar la no linealidad que se presenta en la relación entre las precipitaciones y precios de la leche, se concentra el análisis en modelos de series de tiempo no lineales porque en las situaciones extremas de las precipitaciones, escasez o exceso de lluvias, ante cambios en las precipitaciones, los precios podrían responder con mayor intensidad que en épocas donde 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; diferentes investigaciones se han concentrado en el análisis de los regímenes de ENSO, haciendo hincapié 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, 2001) y representan una dinámica no lineal por sus turbulencias climáticas (Hall et al., 2009).

La aplicación del método TAR es ampliamente utilizado en la literatura para los eventos ENSO. Ubilava (2012a,2012b, 2013, 2018) en diversos trabajos aplica estos modelos no lineales a diferentes precios de productos agrícolas, con el fin de examinar la no linealidad del efecto ENSO sobre la dinámica de los precios del producto en estudio. Un caso es para los precios mundiales del café, identificando que el efecto depende 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 EE. UU, encontrándose con no linealidades, que Ubilava (2013) considera producen las asimetrías históricas específicas en la dinámica de los precios del aceite vegetal bajo diferentes regímenes ENSO. En general, desviaciones positivas, 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, Salcedo, et al., (2019), evalúan la relación entre ENSO 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, logrando capturar un aumento en la inflación de alimentos después de cinco a nueve meses del choque fuerte de ENSO. Utilizan como variable de transición tres rezagos de ENSO y un punto de inflexión que indica un ENSO alto, manifestando que los cambios más importantes que ocurren en el crecimiento de la tasa de inflación de alimentos es cuando la dinámica de ENSO representa fuerte intensidad de El Niño.

### **3. Efectos del tiempo sobre los precios, según estructura del mercado lácteo.**

### 3.1 Estructura de mercado en la transmisión de precios

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 el 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 tales 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, donde 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 Atlántico. (Lombana, et al., 2013; 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 mark-down<sup>1</sup> por variaciones en el choque de oferta exógeno; este coeficiente 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 a las decisiones que suponen van a tomar los otros competidores ante un choque de oferta exógeno.

Por lo 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 ENSO, 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

---

<sup>1</sup> La desviación porcentual del valor marginal de los insumos agrícolas del costo de factor marginal.

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.

#### **4. 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 del 2013 a diciembre 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 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.

Se usan dos series de precios de leche cruda, cada una de las cuales refleja mercados diferentes.

##### **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 Sistema De Información De Precios Y Abastecimiento SIPSA, por municipios, promediando esta información para obtener el dato agregado departamental; esta serie fue deflactada con el IPC con base 2018 para obtener los precios reales y así no capturar el efecto de inflación de precios por causa del fenómeno del niño en la economía, que no solo se da en precios de alimentos sino en distintos sectores (Caicedo, 2007). Seguidamente, se transforma la serie en logaritmo natural, así que los cambios son expresados en términos de porcentaje.

En esta serie, se revelan los precios pagados al productor en finca por las industrias procesadoras, intermediarios, asociaciones y otros; considerándola como una estructura en competencia, porque como fue mencionado anteriormente, tiene presencia de diversos compradores y también vendedores, y no hay fijadores de precios.

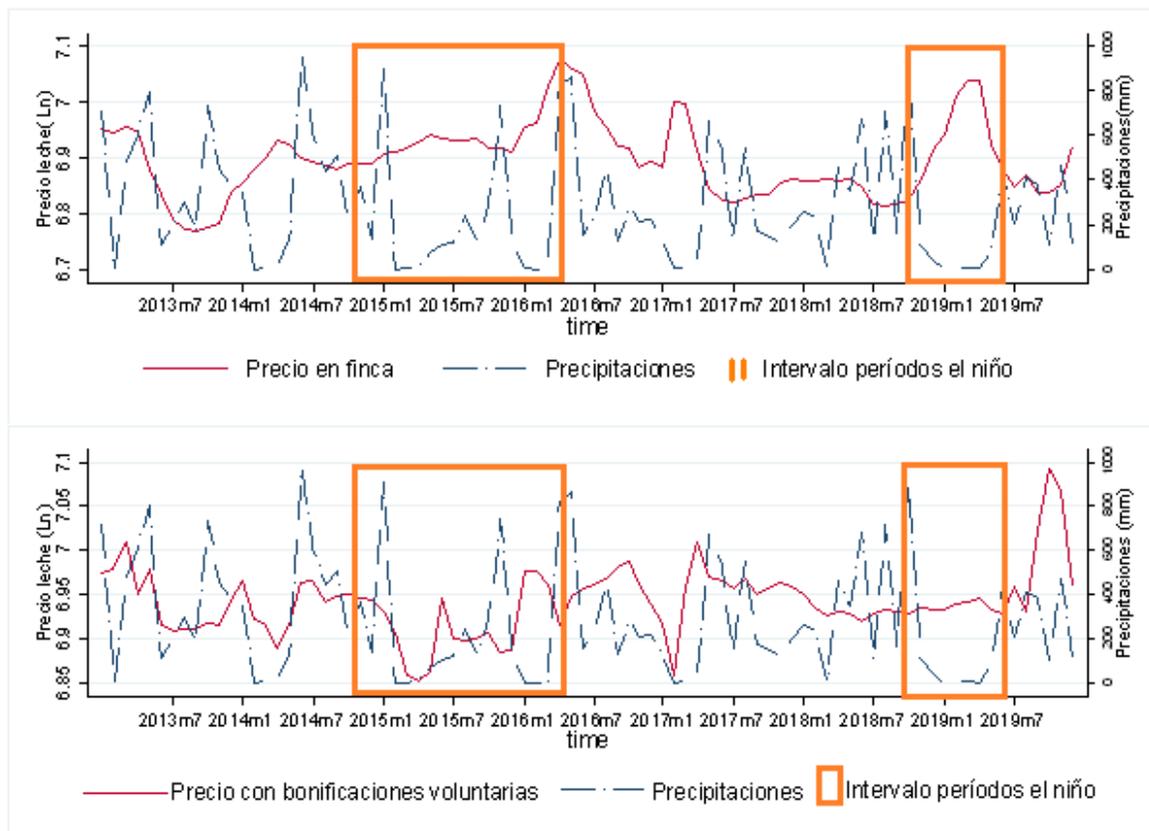
## **2. Precio pagado por la industria procesadora al productor**

La información de esta serie proviene de la Unidad De Seguimiento De Precios De La Leche USP por departamento, el precio registrado corresponde al pagado al productor primario solo por las industrias procesadoras, incluyendo bonos voluntarios en el departamento del Atlántico. Es deflactada con el IPC con base 2018, para obtener los precios en niveles sin el efecto inflacionario. Posteriormente, la serie es transformada en logaritmos naturales, obteniendo 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 a las industrias lácteas; el precio pagado se encuentra regulado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a través de una resolución emitida desde 2007 y que ha sido actualizada a lo largo del tiempo, siendo la última actualización en el año 2012, emitiendo que el precio pagado al productor depende de la calidad composicional e higiénica, bonificaciones obligatorios y voluntarias, concibiendo que estas bonificaciones 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 el gráfico #1, en épocas de “El niño”, donde 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, apreciando 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 un fuerte niño, pero también presentándose en periodos posteriores.

**Gráfico 1. Dinámica de los precios de la leche y precipitaciones.**



**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 (\$/Lt) , SIPSA.
$Pbv_t$	Precio de leche con bonos voluntarios	Precio real pagado al productor por litro de leche con bonos voluntarios con regulaciones (\$/Lt) , USP.
$Precip_t$	Precipitaciones	Precipitaciones promedio (mm), IDEAM
	IPC	Índice de precios al consumidor con base 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.

## 5. MODELACIÓN Y ESTIMACIÓN

El enfoque econométrico considerado para investigar las relaciones dinámicas no lineales entre las precipitaciones y precios de la leche cruda es el modelo autoregresivo por umbrales (TAR, por sus siglas en inglés). Los modelos tipo TAR nos permiten analizar asimetrías dentro y entre precipitaciones y precios de la leche cruda.

Por lo cual, 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 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 autoregresivo con variables dummy estacionales:

$$Pf_t = \alpha_1 + \sum_{s=1}^{11} \alpha_s D_{st} + \sum_{i=1}^p \phi_i Pf_{t-p} + \vartheta_t \quad (3)$$

$$Pbv_t = \alpha_2 + \sum_{s=1}^{11} \alpha_s D_{st} + \sum_{i=1}^p \phi_i Pbv_{t-p} + \vartheta_t \quad (4)$$

$$Precip_t = \alpha_3 + \sum_{s=1}^{11} \alpha_s D_{st} + \sum_{i=1}^{p=3} \beta_i Precip_{t-p} + \vartheta_t \quad (5)$$

Siendo  $D_{st}$ , una variable dummy mensual,  $p$  es el rezago seleccionado para la serie, seleccionado de tal manera que mitigue cualquier correlación serial en  $\vartheta_t$ , así  $\vartheta_t \sim iid(0, \sigma_i^2)$ . 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 autoregresivo para  $Pf_t$ ,

$$Pf_t = \delta_0 + \sum_{s=1}^{11} \alpha_s D_{st} + \sum_{j=0}^3 n_j Precip_{t-j} + \sum_{i=1}^3 \phi_i Pf_{t-i} + e_t \quad (6)$$

Y  $Pbv_t$ :

$$Pbv_t = \delta_1 + \sum_{s=1}^{11} \alpha_s D_{st} + \sum_{j=0}^3 n_j Precip_{t-j} + \sum_{i=1}^2 \phi_i Pbv_{t-i} + e_t \quad (7)$$

Donde los rezagos seleccionados para las series ( $p$ ), mitigan cualquier correlación serial en  $e_t$ , siendo así  $e_t \sim iid(0, \sigma_i^2)$ . Las ecuaciones (6) y (7), son un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL por sus siglas en inglés) aumentado con las variables dummy estacionales, donde las precipitaciones se asume como la variable débilmente exógena para explicar los precios de la leche, tanto en una 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 a los precios en ninguna de las dos series de precios. Posteriormente, se busca identificar y estimar de esta manera un modelo no lineal, perteneciente a la familia de modelos autoregresivo por umbrales (TAR por sus siglas en inglés). En síntesis, se propone un modelo donde los umbrales dependen de la realización de la variable precipitaciones rezagada, explicando el traspaso de las variaciones de las precipitaciones a los precios de la leche tanto en competencia como con regulación de precios. La ecuación (8) plantea lo expresado para los precios de leche en competencia:

$$Pf_t \left\{ \begin{array}{l} \phi_0 + \sum_{i=1}^2 \phi_i Pf_{t-i} + \sum_{i=1}^1 n_i Precip_{t-i} + \sigma_1 e_t, \text{ si } Precip_{t-d} \leq r, \\ \phi_0 + \sum_{i=1}^2 \phi_i Pf_{t-i} + \sum_{i=1}^1 n_i Precip_{t-i} + \sigma_1 e_t, \text{ si } Precip_{t-d} > r \end{array} \right\} \quad (8)$$

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,  $\phi_i$  y  $n_j$  son los coeficientes de regresión, para los precios y las precipitaciones, respectivamente, indicando el grado de pass-through de cada escenario.

Y la ecuación (9) para los precios de leche con una estructura de mercado con precios regulados:

$$Pbv_t \left\{ \begin{array}{l} \phi_{0,1} + \sum_{i=1}^1 \phi_i Pbv_{t-i} + \sum_{i=1}^1 n_i Precip_{t-i} + \sigma_1 e_t, \text{ si } Precip_{t-d} \leq r_1, \\ \phi_{0,2} + \sum_{i=1}^1 \phi_i Pbv_{t-i} + \sum_{i=1}^1 n_i Precip_{t-i} + \sigma_1 e_t, \text{ si } r_1 < Precip_{t-d} \leq r_2, \\ \phi_{0,3} + \sum_{i=1}^1 \phi_i Pbv_{t-i} + \sum_{i=1}^1 n_i Precip_{t-i} + \sigma_1 e_t, \text{ si } r_2 < Precip_{t-d} \end{array} \right\} \quad (9)$$

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,  $\phi_i$  y  $n_j$  son los coeficientes de regresión, para los precios y las precipitaciones, respectivamente, indicando el grado de pass-through de cada escenario.

**Tabla 2. Estimación modelo autorregresivos por umbrales, 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 leche en finca		Coef.	Precio leche con bonos voluntarios		Coef.
	<u>Región 1</u>			<u>Región 1</u>	
<b>Precio leche en finca</b>			<b>Precio leche con bonos voluntarios</b>		
L1.		1.3806*** (.2802)	L1.		.4825605 *** (.1482)
L2.		-.6775*** (.2563)			
<b>Precipitaciones</b>			<b>Precipitaciones</b>		
L1.		<b>-.0546***</b> (.0131)	L1.		.0000203 (.00002)
<b>Constante</b>		2.0994 (1.3714)	<b>Constante</b>		3.585383*** (1.0271)
	<u>Región 2</u>			<u>Región 2</u>	
<b>Precio leche en finca</b>			<b>Precio leche con bonos voluntarios</b>		
L1.		1.3052*** (.1089)	L1.		1.577446 *** (.1075)
L2.		-.4866*** (.1033)			
<b>Precipitaciones</b>			<b>Precipitaciones</b>		
L1.		-7.14e-06 (.000012)	L1.		<b>.0000873**</b> (.00004)
<b>Constante</b>		1.2516 *** (.3289)	<b>Constante</b>		-4.02969*** (1.5326)
				<u>Región 3</u>	
			<b>Precio leche con bonos voluntarios</b>		
			L1.		0.5140492*** (0.9822)

<b>Precipitaciones</b>	
L1.	-0.0000251 (.00002)
<b>Constante</b>	3.379691*** (.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.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

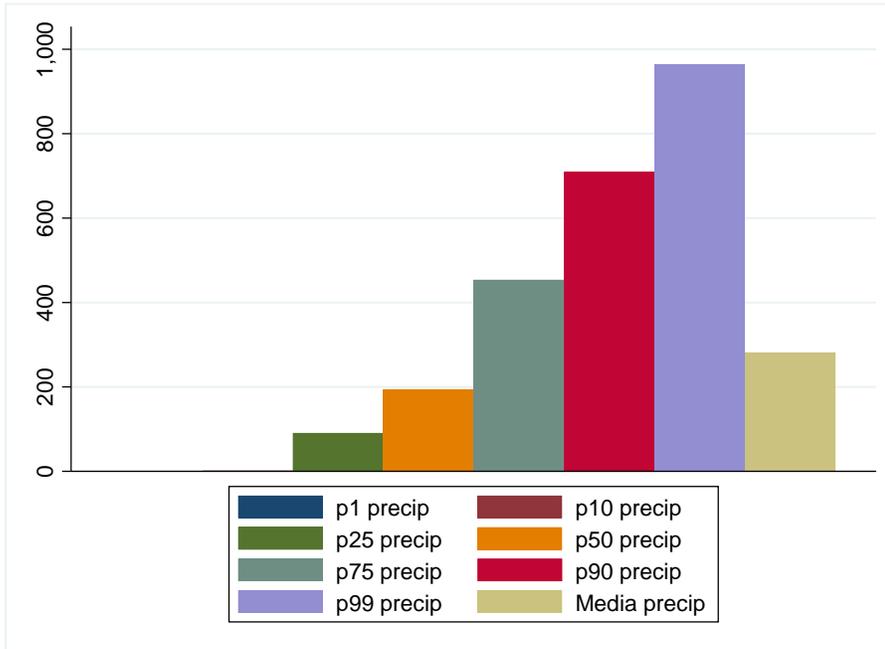
Luego de considerar TAR como el mejor modelo para capturar las anomalías de las precipitaciones en los precios de la leche según la estructura de mercado, se obtienen los resultados no muy alejados de las consideraciones realizadas anteriormente. Obteniendo resultados diferentes cuando se trata de una 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 1% por debajo de 1.8 mm, la tasa de crecimiento del precio pagado al productor aumenta en 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 los gráficos #2 y #3, se puede apreciar que 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 NOAA, el índice del niño oceánico (ONI en inglés) es mayor que 1.5 y muy fuerte por encima de 1.9, las precipitaciones promedio son de 182 mm y el 50% de las precipitaciones 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.

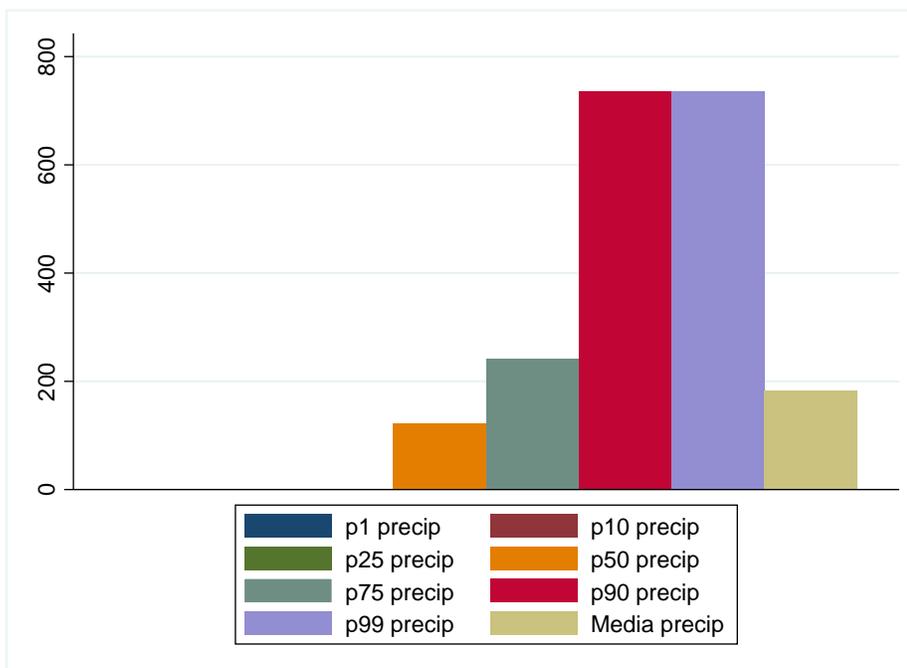
Por otra parte, en un mercado con precios regulados, se utiliza como variable de umbral el primer rezago de las precipitaciones,  $Precip_{t-3}$ ; estimando dos umbrales con el criterio de información de Akaike AIC, el primero umbral para  $Precip_{t-3}$  es 210 mm y el segundo 131mm. Cuando  $Precip_{t-3}$  es mayor que 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 en términos de 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 con lo anterior, se puede identificar que, en la estructura de mercado en competencia, anomalías en las precipitaciones como consecuencia del fenómeno del niño, generan cambios significativos en los precios como consecuencia 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 Atlántico, solo corresponden a las empresas procesadoras de leche.

**Gráfico 2. Distribución de las precipitaciones**



**Gráfico 3. Distribución precipitaciones con niño fuerte (ONI  $\geq 1.5$ )**



## 7. CONCLUSIONES

En la investigación, se revela que la dinámica de las precipitaciones se caracteriza por explicar la no linealidad a través de un modelo autoregresivo por umbrales, TAR por sus siglas en inglés, utilizando las precipitaciones como variable de umbral. Por lo 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 en la investigación 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, pudo explicar que la relación entre estas variables se presenta en épocas del niño fuerte y muy fuerte, donde 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 del 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 ENSO extremo, y una relación aparentemente directa pero insignificante en los precios regulados pagados al productor cuando hay precipitaciones promedias.

Por otro lado, teniendo en cuenta que con bajas precipitaciones el ganado bovino tiene una desmejora en su rendimiento (Zuluaga 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 no lineal por umbrales, 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; en parte esto puede deberse a las bonificaciones obligatorias y voluntarias que reciben los productores de leche. Sin embargo, hay que tener en cuenta 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 susceptible a los choques climáticos, sin embargo, anteriormente 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 donde mayormente se ve afectada por las anomalías de ENSO, dada su cercanía al epicentro, por lo que el trabajo contribuye al entendimiento de variaciones climáticas en el sector lácteo.

## 8. ANEXOS

**Tabla 3. Prueba raíces unitarias serie  $Pf_t$**

<b>Prueba de raíces unitarias: Dickey - Fuller Aumentado</b>				
	Valores test estadístico	1pct	5pct	10pct
tau2	-3.69	-3.51	-2.89	-2.58
phi1	6.84	6.70	4.71	3.86

**Tabla 4. Prueba raíces unitarias serie  $Pbv_t$**

<b>Prueba de raíces unitarias: Dickey - Fuller Aumentado</b>				
	Valores test estadístico	1pct	5pct	10pct
tau2	-4.62	-3.51	-2.89	-2.58
phi1	10.66	6.70	4.71	3.86

**Tabla 5. Prueba raíces unitarias serie  $Precip_t$**

<b>Prueba de raíces unitarias: Dickey - Fuller Aumentado</b>				
	Valores test estadístico	1pct	5pct	10pct
tau2	-5.15	-3.51	-2.89	-2.58
phi1	13.28	6.70	4.71	3.86

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abril-Salcedo, D. S., Melo-Velandia, L. F., & 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.

An, S.-I. (2009). A review of interdecadal changes in the nonlinearity of the El Niño – Southern oscillation, *Theoretical and Applied Climatology* 97(1–2), 29–40.

Avila Montes, C. (2016). Impacto del clima sobre los precios de los alimentos en Colombia, un estudio a nivel desagregado (Bachelor's thesis, Uniandes).

Arias, R. A., Mader, T. L., & 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.

Bejarano-Salcedo, V., Cárdenas-Cárdenas, J. A., Julio-Román, J. M., Caicedo-García, E., Julio-Román, J. M., Bejarano-Salcedo, V., ... & Cárdenas-Cárdenas, J. A. (2020). Entendiendo, Modelando y Pronosticando el Efecto de “El Niño” Sobre los Precios de los Alimentos: El Caso Colombiano. *Borradores de Economía*; No. 1102.

Bejarano-Salcedo, V., Caicedo-García, E., Lizarazo-Bonilla, N. F., Julio-Román, J. M., Cárdenas-Cárdenas, J. A., & Julio-Román, J. M. (2020). Hechos estilizados de

la relación entre El niño, La Niña y la inflación en Colombia. *Borradores de Economía; No. 1105*.

Bejarano-Salcedo, V., Caicedo-García, E., Lizarazo-Bonilla, N. F., Julio-Román, J. M., Cárdenas-Cárdenas, J. A., & Julio-Román, J. M. (2020). Entendiendo, Modelando y Pronosticando el Efecto de “El Niño” Sobre los Precios de los Alimentos: El Caso Colombiano. *Borradores de Economía; No. 1102*.

Bocanegra, J. E. M. (2014). Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño Y La Niña en Colombia.

Cai, W., Santoso, A., Wang, G., Yeh, S. W., An, S. I., Cobb, K. M., ... & Lengaigne, M. (2015). ENSO and greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 5(9), 849-859.

Chen, Z., & Lent, R. (1992). Supply analysis in an oligopsony model. *American Journal of Agricultural Economics*, 74(4), 973-979.

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2012). Boletín técnico cuentas departamentales. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co>.

Enders, W. (2012). Applied econometric time series. *Privredna kretanja i ekonomska politika*, 132, 93.

Escobar, Y. C. (2008). Incidencia de El Niño-Oscilación del Sur en la precipitación y la temperatura del aire en Colombia, utilizando el Climate Explorer.

Hall, A., Skalin, J. and Terasvirta, T. (2001). A nonlinear time series model of El Niño, *Environmental Modelling & Software* 16(2), 139–146.

Just, R. E., & Chern, W. S. (1980). Tomatoes, technology, and oligopsony. *The Bell Journal of Economics*, 584-602

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.

Lombana Coy, J., Martínez Martelo, D. N., Rubio Oquendo, J. A., Castrillón Cifuentes, J., & Marino Manga, W. (2013). Caracterización del sector ganadero del Caribe colombiano.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2018) Fenómeno de El Niño ya está impactando Colombia. Recuperado de: : <http://www.minambiente.gov.co>.

Pabón, J. D., & 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.

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

Ratnasiri, S., Walisinghe, R., Rohde, N., & Guest, R. (2019). The effects of climatic variation on rice production in Sri Lanka. *Applied Economics*, 51(43), 4700-4710.

Reca, L. G. (1969). Precios y áreas sembradas con algodón en la provincia del Chaco, 1938-1968. *Desarrollo Economico*, 387-397.

Rogers, R. T., & Sexton, R. J. (1994). Assessing the importance of oligopsony power in agricultural markets. *American Journal of Agricultural Economics*, 76(5), 1143-1150.

Sáenz-Segura, F., D'Haese, M., & 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.

Salcedo, D. S. A., Melo-Velandia, L. F., & Parra-Amado, D. (2019). *Nonlinear relationship between the weather phenomenon El Niño and Colombian food prices*. Banco de la Republica de Colombia.

Schlenker, W., & 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.

Sharma, P., Humphreys, J., & 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.

Smith, M. D., Oglend, A., Kirkpatrick, A. J., Asche, F., Benneer, L. S., Craig, J. K., & Nance, J. M. (2017). Seafood prices reveal impacts of a major ecological disturbance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7), 1512-1517.

Stürmer, M., Busanello, M., Velho, J. P., Heck, V. I., & 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.

Tao, F., Zhang, Z., & Yokozawa, M. (2011). Dangerous levels of climate change for agricultural production in China. *Regional Environmental Change*, 11(1), 41-48.

Teräsvirta, T. (1994). Specification, estimation, and evaluation of smooth transition autoregressive models. *Journal of the American Statistical Association*, 89(425), 208-218.

Teräsvirta, T., and H. Anderson. 1992. Characterizing Nonlinearities in Business Cycles using Smooth Transition Autoregressive Models. *Journal of Applied Econometrics* 7 (S1): S119–36.

Teräsvirta, T., D. Tjøstheim, and C.W.J. Granger. 2010. *Modelling Nonlinear Economic Time Series*. Advanced Texts in Econometrics. New York: Oxford University Press.

Tsay, R. S., & Chen, R. (2018). *Nonlinear time series analysis* (Vol. 891). John Wiley & Sons.

Ubilava, D. (2012a). El Niño, La Niña, and world coffee price dynamics. *Agricultural Economics*, 43(1), 17-26.

Ubilava, D. (2012b). Modeling nonlinearities in the US soybean-to-corn price ratio: a smooth transition autoregression approach. *Agribusiness*, 28(1), 29-41.

Ubilava, D., & 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.

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.

Weldegebriel, H. T. (2004). Imperfect price transmission: is market power really to blame?. *Journal of Agricultural Economics*, 55(1), 101-114.

Yates, D. N., & Strzepek, K. M. (1998). An assessment of integrated climate change impacts on the agricultural economy of Egypt. *Climatic Change*, 38(3), 261-287.

Zuluaga, J. J. E., & 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.