

ANÁLISIS DEL TEOREMA DE LA TELARAÑA APLICADA A LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ PARA BOLIVIA

Syed Nick Syed Falah Parra¹

1 Graduado de Ingeniería Económica – UPSA.

Resumen

El presente estudio analiza la dinámica de la producción de maíz en Bolivia (2003-2024) bajo el marco teórico del Teorema de Telaraña, mediante la metodología econométrica ARDL (Autoregressive Distributed Lag). El objetivo central es determinar si los precios constituyen un factor determinante en las decisiones productivas del sector agrícola boliviano. Los resultados del modelo global ARDL(2,1,2,2,2) confirman que la producción de maíz responde principalmente a factores estructurales de oferta (rendimiento agrícola y superficie cultivada) más que a señales de precios internos o externos. El coeficiente del precio interno (P_{BS}) no resultó estadísticamente significativo ($p = 0.355$), mientras que el rendimiento y la superficie cultivada presentaron coeficientes altamente significativos ($p = 0.0000$). El término de corrección del error ($ECT = -1.145$; $p = 0.0000$) evidencia una corrección rápida hacia el equilibrio de largo plazo. Se concluye que el comportamiento del mercado maicero boliviano no se ajusta a la predominancia de factores productivos y climáticos como determinantes del volumen de producción.

Palabras clave: Teorema de la Telaraña, modelo ARDL, producción de maíz, Bolivia, econometría de series de tiempo, elasticidad-precio de oferta.

Introducción

El mercado del maíz presenta fluctuaciones recurrentes en precios y oferta que afectan la rentabilidad de los productores y la estabilidad del abastecimiento interno. Estas fluctuaciones son consistentes con las condiciones descritas por el Teorema de la Telaraña: mercados agrícolas donde los productores basan sus decisiones de siembra en precios pasados,

Abstract

This study analyzes the dynamics of maize production in Bolivia (2003-2024) within the theoretical framework of the Cobweb Theorem, using the ARDL (Autoregressive Distributed Lag) econometric methodology. The central objective is to determine whether prices constitute a determining factor in the production decisions of the Bolivian agricultural sector. The results of the global ARDL(2,1,2,2,2) model confirm that maize production responds primarily to structural supply factors (agricultural yield and cultivated area) rather than to internal or external price signals. The internal price coefficient (P_{BS}) was not statistically significant ($p = 0.355$), while yield and cultivated area showed highly significant coefficients ($p = 0.0000$). The error correction term ($ECT = -1.145$; $p = 0.0000$) demonstrates a rapid correction toward long-term equilibrium. It is concluded that the behavior of the Bolivian corn market does not conform to the predominance of productive and climatic factors as determinants of production volume.

Keywords: Cobweb Theorem, ARDL model, maize production, Bolivia, time series econometrics, price elasticity of supply.

generando potencialmente ciclos de sobreproducción y escasez (Ezekiel, 1938).

Planteamiento del problema

La producción de maíz carece de mecanismos de predicción que permitan anticipar fluctuaciones de precios y oferta. Los agricultores toman decisiones basadas en precios pasados, lo que podría generar ciclos de sobreproducción y escasez.

No existen estudios que analicen si el mercado del maíz sigue el Teorema de la Telaraña, lo que dificulta la toma de decisiones y aumenta la incertidumbre en el sector. La falta de información limita estrategias para estabilizar el mercado, afectando la rentabilidad de los productores y la seguridad alimentaria del país.

El Teorema de la Telaraña

El Teorema de la Telaraña fue formulado por Mordecai Ezekiel en 1938 para explicar las fluctuaciones cíclicas de precios y cantidades en mercados donde la oferta responde con rezago a los precios pasados. El modelo describe cómo los productores, al tomar decisiones de siembra basadas en los precios del periodo anterior, pueden generar ciclos repetitivos de exceso de oferta y escasez (Ezekiel, 1938). Gráficamente, la trayectoria de ajuste del mercado describe una espiral que converge, diverge o se mantiene estable alrededor del equilibrio, dependiendo de las elasticidades relativas de oferta y demanda

Modelo ARDL y el Bound Test de cointegración

El modelo ARDL (Autoregressive Distributed Lag), propuesto por Pesaran, Shin y Smith (2001), es una herramienta econométrica flexible para analizar relaciones de largo plazo entre variables con distintos órdenes de integración ($I(0)$ e $I(1)$). Su principal ventaja radica en su aplicabilidad a muestras pequeñas, lo que lo convierte en el enfoque más adecuado para el caso boliviano con 22 observaciones anuales (IHS Markit, 2020). El Bounds Test compara el estadístico F calculado con valores críticos superiores ($I(1)$) e inferiores ($I(0)$). Si el estadístico F supera el límite superior, se confirma la existencia de cointegración. Cuando existe cointegración, se estima la Long Run Form o ecuación de largo plazo, y se construye el Modelo de Corrección de

Errores (ECM) que describe la velocidad de ajuste al equilibrio en el corto plazo. El término de corrección del error (ECT) debe ser negativo y estadísticamente significativo para confirmar la estabilidad del sistema.

Variables

Las variables del estudio se organizaron en cuatro bloques analíticos:

- **Bloque 1.- Precios:** precio interno del maíz, precio interno en dólares, precio Chicago (CBOT) y precio Rosario (Argentina).
- **Bloque 2.- Estructura productiva:** rendimiento agrícola y superficie cultivada.
- **Bloque 3.- Factores climáticos y macroeconómicos:** precipitaciones anuales en Santa Cruz y tipo de cambio nominal.
- **Bloque 4.- Sector externo:** Exportaciones de maíz (USD)

La variable dependiente en todos los modelos es la cantidad producida de maíz (CANTIDAD, toneladas).

Correlaciones entre variables

El análisis de correlaciones (Tabla 1) ofrece una primera aproximación a las relaciones entre las variables clave del sector. A continuación, se detallan los hallazgos más relevantes:

- **Producción y Superficie:** Se observa una correlación positiva y fuerte entre la cantidad y la superficie cultivada ($r = 0,77$). Esto indica que el crecimiento productivo en Bolivia ha sido de tipo extensivo, sustentado principalmente en la expansión del área de siembra.
- **Relación Producción-Precio:** En contraste, la correlación entre la cantidad y el precio (Bs) es débil ($r = 0,21$). Esto sugiere que los productores

no ajustan su nivel de siembra de manera inmediata ante variaciones de precios internos.

- **Precios Internacionales:** Los precios de referencia de Chicago y Rosario presentan una correlación casi perfecta entre sí ($r = 0,98$).
- **Integración de Mercados:** La relación de los precios internacionales con el precio (Bs) interno es significativa, con valores de $r = 0,64$ para Chicago y $r = 0,74$ para Rosario. Esto refleja la integración del mercado boliviano

con los mercados internacionales de referencia.

- **Efecto del Tipo de Cambio:** El tipo de cambio muestra una correlación negativa marcada con los precios internacionales ($r = -0,61$ con Chicago y $r = -0,69$ con Rosario) y especialmente con el precio en dólares local ($r = -0,72$ con precio USD/TM). Esto evidencia el efecto de la política cambiaria sobre la transmisión de precios externos al mercado interno.

Tabla 1. Matriz de correlación

MATRIZ DE CORRELACIÓN	CANTIDAD (TN)	PRECIO (BS)	PRECIO (USD/TM)	PRECIO CHICAGO (USD/TM)	PRECIO ROSARIO (USD/TM)	EXPORTACIÓN (USD)	RENDIMIENTO (KG/HC)	PRECIPITACIONES SCZ (MM)	SUPERFICIE CULTIVADA (HA)	TIPO DE CAMBIO
CANTIDAD (TN)	1.00	0.21	0.26	0.34	0.41	0.48	0.39	-0.17	0.77	-0.62
PRECIO (BS)	0.21	1.00	1.00	0.64	0.74	0.01	-0.29	-0.39	0.41	-0.65
PRECIO (USD/TM)	0.26	1.00	1.00	0.66	0.76	0.07	-0.29	-0.41	0.41	-0.72
PRECIO CHICAGO (USD/TM)	0.34	0.64	0.66	1.00	0.98	0.30	-0.04	-0.28	0.47	-0.61
PRECIO ROSARIO (USD/TM)	0.41	0.74	0.76	0.98	1.00	0.30	-0.04	-0.35	0.37	-0.69
EXPORTACIÓN (USD)	0.48	0.01	0.07	0.30	0.30	1.00	0.00	-0.21	0.50	-0.47
RENDIMIENTO (KG/HC)	0.39	-0.29	-0.29	-0.04	-0.04	0.00	1.00	0.03	-0.27	0.22
PRECIPITACIONES SCZ (MM)	-0.17	-0.39	-0.41	-0.28	-0.35	-0.21	0.03	1.00	-0.18	0.39
SUPERFICIE CULTIVADA (HA)	0.77	0.41	0.47	0.37	0.44	0.50	-0.27	-0.18	1.00	-0.79
TIPO DE CAMBIO	-0.62	-0.65	-0.72	-0.61	-0.69	-0.47	0.22	0.39	-0.79	1.00

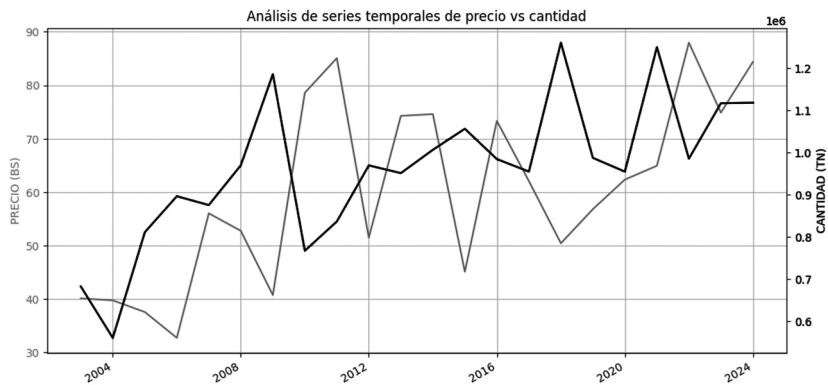
Fuente: Elaboración propia.

Serie temporal

En la *Gráfica 1* se aprecia que el precio interno del maíz (línea azul) presenta oscilaciones notorias a lo largo del periodo,

con aumentos significativos en años como 2011, 2017 y 2021, coincidiendo con periodos de inestabilidad económica y alza de costos de insumos agrícolas.

Gráfica 1. Serie temporal del precio vs cantidad



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, la cantidad producida (línea roja) muestra una tendencia general creciente, aunque con caídas puntuales en años de precios bajos o condiciones climáticas adversas.

Prueba de estacionariedad de las series

Tabla 2. Prueba ADF (Augmented Dickey-Fuller)

Valores p-value de la prueba ADF		
Variable	Nivel	1ra diferencia
Cantidad	0.0380	0.0000
Precio (Bs)	0.3259	0.0000
Precio (USD)	0.2582	0.1947
Precio (Chicago)	0.0628	0.0039
Precio (Rosario)	0.0871	0.0193
Expoortaciones	0.0118	0.0001
Precipitaciones	0.0019	0.0001
Superficie cultivada	0.3043	0.0030
Rendimiento	0.0058	0.0001
Tipo de cambio	0.0042	0.0000

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 2 todas las variables son estacionarias en nivel o en primera al 5% de nivel de significancia diferencia a escéptico de Precio (Usd), esta variable es estacionaria en segunda diferencia por lo

que no podremos utilizar la para estimar los modelos.

Discusión de resultados

Modelos ARDL

- Bloque 1 Precios interno y externos: El modelo ARDL(1,2,0,0) seleccionado mostró un ECT (Error Correction Term) negativo y significativo ($-0,814$; $p = 0,0003$) y superó el Bounds Test ($F = 3,70$), confirmando cointegración. Sin embargo, ningún coeficiente de precio resultó estadísticamente significativo en la ecuación de largo plazo, lo que evidencia que los precios no son determinantes de la producción de maíz en Bolivia.
- Bloque 2 Estructura productiva: Este bloque presentó el mayor poder explicativo. Los modelos estimados mostraron un R^2 ajustado de $0,98-0,99$ y un Bounds Test superior a 400 , evidenciando cointegración sólida. El rendimiento y la superficie cultivada son los factores más determinantes de la producción, tanto en el corto como en el largo plazo. El ECT fue negativo y altamente significativo ($p = 0,0000$) en todos los modelos del bloque.

- Bloque 3 Factores climáticos y tipo de cambio: El modelo ARDL(1,2,0) seleccionado mostró un ECT de $-0,969$ ($p = 0,0001$), con cointegración confirmada ($F = 6,79$). Las precipitaciones tienen un efecto negativo en el largo plazo (lluvias excesivas reducen la producción por daños a los cultivos), mientras que el tipo de cambio afecta negativamente la producción al encarecer los insumos importados cuando se deprecia
- Bloque 4 Sector externo: Las exportaciones mostraron un R^2 ajustado bajo ($0,115$) y cointegración marginal (Bounds Test = $3,09$, al 10%). El ECT fue negativo y significativo ($-0,694$; $p = 0,0058$), pero la capacidad explicativa del canal externo es limitada, reflejando el bajo volumen exportado y la orientación del sector hacia el mercado interno.
- Modelo Global ARDL(2,1,2,2,2): El modelo conjunto integra las variables más representativas: precio interno (P_BS), rendimiento ($REND$), superficie cultivada ($SUPC$) y precipitaciones ($PRECIP$). El F-Bounds Test arrojó un estadístico de $16,46$, muy superior al valor crítico al 1% ($I(1) = 5,84$ para muestra finita $n=30$), confirmando una relación de cointegración robusta entre las variables (*Tabla 4*).

Tabla 3. F-Bounds Test del modelo Global

Estadístico	Valor	I(0) 5%	I(1) 5%	I(1) 1% (n=30)
F-statistic (k=4)	16.4559	3.058	4.223	5.84
Conclusión	Conintegración confirmada al 1%			

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de largo plazo estimada muestra los siguientes resultados (*Tabla 4*):

Tabla 4. Ecuación de largo plazo modelo Global

Variable	Coefficiente	Error Estándar	t-estadístico	Prob.
P_BS (precio interno)	173.30	173.11	1.0010	0.3554 (n.s.)
REND (rendimiento)	434.90 ***	14.52	29.95	0.0000
SUPC (superficie cultivada)	2.537 ***	0.0500	50.86	0.0000
PRECIP (precipitaciones)	-900.81 **	325.80	-2.765	0.0326
Constante	-1,045,284 ***	52913.58	-19.75	0.0000
ECT (corrección del error)	-1.145 ***	—	—	0.0000

Nota: *** $p < 0.01$; ** $p = 0.05$; n.s. = no significativo

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de largo plazo confirman que el rendimiento (coeficiente = $434,90$; $p = 0,000$) y la superficie cultivada (coeficiente = $2,537$; $p = 0,000$) son los únicos determinantes estadísticamente significativos de la producción de maíz.

Un incremento de una unidad en el rendimiento promedio eleva la producción total en aproximadamente 435 toneladas por hectárea, mientras que la expansión de una hectárea de superficie cultivada incrementa la producción en $2,54$

toneladas. En contraste, el precio interno no resultó significativo ($p = 0,355$), lo que confirma la hipótesis central de que los productores bolivianos no responden de manera directa a las señales de precios al tomar sus decisiones de siembra.

Las precipitaciones presentan un coeficiente negativo en el largo plazo ($-900,81$; $p = 0,033$), lo que sugiere que precipitaciones excesivas tienen un efecto adverso sobre la producción, posiblemente por daños derivados de inundaciones o exceso de humedad en los suelos. En el corto plazo, sin embargo, se evidencia una dinámica cíclica: las precipitaciones actuales tienen un efecto negativo ($-312,19$; $p = 0,022$), mientras que su rezago de un año es positivo ($562,57$; $p = 0,002$), reflejando la alternancia de años húmedos y la recuperación posterior del rendimiento.

El término de corrección del error ($ECT = -1,145$; $p = 0,000$) es negativo y altamente significativo, indicando que aproximadamente el 114,5% del desequilibrio se corrige en un periodo anual. Este valor, superior a 1 en valor absoluto, refleja un proceso de convergencia al equilibrio con cierto sobreajuste inicial, pero que se estabiliza rápidamente gracias a la significancia del ECT.

Diagnóstico del modelo

Las pruebas de diagnóstico confirman la validez econométrica del modelo. La prueba de autocorrelación de Breusch-Godfrey ($p = 0,443$) descarta correlación serial en los residuos. La prueba de heterocedasticidad de Breusch-Pagan-Godfrey ($p = 0,469$) confirma residuos homocedásticos. La prueba de normalidad de Jarque-Bera ($p = 0,448$) evidencia distribución normal de los residuos. Finalmente, las pruebas CUSUM y CUSUMQ se mantienen dentro de las bandas de significancia al 5%, confirmando que el modelo es estable y

no presenta cambios estructurales a lo largo del periodo analizado.

Conclusiones

El presente estudio analizó la dinámica del mercado del maíz en Bolivia entre 2003 y 2024 bajo el enfoque del Teorema de la Telaraña, aplicando la metodología ARDL para estimar relaciones de corto y largo plazo. Los principales hallazgos son:

- El Teorema de la Telaraña no explica completamente el comportamiento del mercado maicero boliviano. La respuesta de la producción a los precios es débil y estadísticamente no significativa, tanto para los precios internos como para los internacionales.
- Los determinantes fundamentales de la producción son el rendimiento agrícola y la superficie cultivada, ambos altamente significativos en el largo plazo ($p = 0,000$). Esto evidencia que el crecimiento del sector ha sido principalmente extensivo e impulsado por factores estructurales de oferta.
- Las precipitaciones actúan como variable moduladora: su exceso en el largo plazo afecta negativamente la producción, mientras que en el corto plazo se observa un patrón de recuperación cíclica.
- El modelo global ARDL (2,1,2,2,2) es econométricamente sólido, con cointegración robusta ($F\text{-Bounds} = 16,46$), mecanismo de corrección del error significativo ($ECT = -1,145$), y diagnósticos satisfactorios.
- Las exportaciones tienen un impacto marginal sobre la producción interna, reflejando la orientación del sector hacia el abastecimiento del mercado doméstico.

Bibliografía

Ezekiel, M. (1938). The Cobweb Theorem. *The Quarterly Journal of Economics*, 52(2), 255-280. <https://doi.org/10.2307/1881734>

IHS Markit. (2020). *EViews 12 User's Guide II*. IHS Markit. <https://cdn1.eviews.com/EViews%2012%20Users%20Guide%20II.pdf>

Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>