

# Determinantes de la producción agrícola en la región Ica:

evidencia econométrica mediante un modelo ARDL (2000–2025)

- Segundo Humberto Peña Tejada
- Cesar Augusto Ediberto Lévano Salazar
- Yovana Rosario Chacaltana de la Cruz
- Jorge Luis Donayre Rios

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \beta_j x_{t-j} + \varepsilon_t$$

$ARDL(p, q_1, q_2, \dots, q_k)$



EDITORIAL  
MUNDO INTERDISCIPLINARIO

ISBN 978-628-97574-7-7

## ***Autores***

<p><b>Segundo Humberto Peña Tejada</b></p> <p>Correo electrónico: <a href="mailto:humberto.pena@unica.edu.pe">humberto.pena@unica.edu.pe</a></p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0009-0003-7174-0014">https://orcid.org/0009-0003-7174-0014</a></p> <p>Afiliación: Universidad Nacional San Luis Gonzaga</p>	<p><b>Cesar Augusto Ediberto Lévano Salazar</b></p> <p>Correo Electrónico: <a href="mailto:cesar.levano@unica.edu.pe">cesar.levano@unica.edu.pe</a></p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-5922-1305">https://orcid.org/0000-0002-5922-1305</a></p> <p>Afiliación: Universidad Nacional San Luis Gonzaga</p>
<p><b>Yovana Rosario Chacaltana de la Cruz</b></p> <p>Correo Electrónico: <a href="mailto:yovana.chacaltana@unica.edu.pe">yovana.chacaltana@unica.edu.pe</a></p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6484-9351">https://orcid.org/0000-0001-6484-9351</a></p> <p>Afiliación: Universidad Nacional San Luis Gonzaga</p>	<p><b>Jorge Luis Donayre Rios</b></p> <p>Correo Electrónico : <a href="mailto:jorge.donayre@unica.edu.pe">jorge.donayre@unica.edu.pe</a></p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-2176-7406">https://orcid.org/0000-0003-2176-7406</a></p> <p>Afiliación: Universidad Nacional San Luis Gonzaga</p>



**Editor:** Nora González Pérez

**Título:**

Determinantes de la producción agrícola en la región Ica: evidencia econométrica mediante un modelo ARDL (2000–2025)

**Autores:** Segundo Humberto Peña Tejada, Cesar Augusto Ediberto Lévano Salazar, Yovana Rosario Chacaltana de la Cruz, Jorge Luis Donayre Rios

**ISBN Versión Digital:** 978-628-97574-7-7

**Sello Editorial:**

Editorial Mundo Interdisciplinario

**Dirección de Publicaciones:** Fitzgerald Castro

**Portada:** Luz González

**Diagramación:** Daniel Castro González

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons – Atribución – No comercial – Sin Derivar 4.0 internacional

[https://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](https://co.creativecommons.org/?page_id=13)



Cartagena –Colombia, Mayo de 2026

**Determinantes de la producción agrícola en la región Ica:  
evidencia econométrica mediante un modelo ARDL (2000–  
2025)**

**Segundo Humberto Peña Tejada  
Cesar Augusto Ediberto Lévano Salazar  
Yovana Rosario Chacaltana de la Cruz  
Jorge Luis Donayre Rios**

**Colombia  
Latinoamérica**

**2026**

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y PROCEDENCIA

En la presente obra titulada "Determinantes de la producción agrícola en la región Ica: evidencia econométrica mediante un modelo ARDL (2000–2025)", se establecen de manera explícita las contribuciones de autoría, en cumplimiento de los principios de transparencia académica y reconocimiento de la participación intelectual en la investigación científica.

El desarrollo integral de la investigación fue liderado por el Mtro. Segundo Humberto Peña Tejada, quien estuvo a cargo de la concepción del estudio, la formulación del problema de investigación y la definición de los objetivos. Asimismo, diseñó el enfoque metodológico basado en modelos econométricos de series de tiempo, particularmente mediante la aplicación del modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL). De igual forma, asumió la responsabilidad de la construcción, depuración y estructuración de la base de datos correspondiente al periodo 2000–2025, utilizando información proveniente de fuentes oficiales.

En el plano técnico, el autor principal realizó la estimación de los modelos econométricos mediante el uso del software Stata 17, incluyendo la aplicación de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), pruebas de estacionariedad, cointegración y modelos de corrección de errores (ECM). Asimismo, desarrolló el análisis e interpretación de los resultados desde una perspectiva económica, integrando los hallazgos dentro de un enfoque sistémico y dinámico de la producción agrícola. Finalmente, estuvo a cargo de la redacción integral del manuscrito y de la revisión final del documento, garantizando la coherencia académica y la rigurosidad científica de la obra.

Por su parte, la Mtro. Yovana Rosario Chacaltana de la Cruz contribuyó en la revisión y fortalecimiento del marco teórico, apoyando en la sistematización de antecedentes y en la validación conceptual del enfoque de investigación. Su participación permitió consolidar la base teórica del estudio y asegurar su coherencia con la literatura científica especializada.

El Dr. Cesar Augusto Edilberto Lévano Salazar participó en el desarrollo metodológico, brindando apoyo en la validación de la consistencia econométrica del modelo y en la revisión de los procedimientos estadísticos aplicados. Asimismo, colaboró en la evaluación de la robustez de los resultados, contribuyendo a garantizar la solidez técnica del análisis realizado.

El Mtro. Jorge Luis Donayre Ríos aportó en el análisis aplicado del sector agrícola, contribuyendo a contextualizar los resultados dentro de la realidad productiva de la región Ica. Su participación se orientó a la revisión de la coherencia entre los resultados econométricos y su interpretación económica, fortaleciendo la aplicabilidad del estudio.

En conjunto, todos los autores han participado de manera significativa en el desarrollo de la investigación, han revisado críticamente el contenido del manuscrito y aprueban su versión final para publicación, declarando que sus aportes han sido realizados en estricto cumplimiento de los principios de ética e integridad científica.

La presente declaración tiene como finalidad garantizar la transparencia académica, reconocer expresamente el proceso de ampliación científica efectuado y dejar constancia de la autoría legítima y original de las contribuciones intelectuales que integran esta publicación.

Los autores

## Contenido

RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA Y EL PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....	16
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	16
1.2. Problema de investigación .....	19
1.3. Objetivos de la investigación .....	19
1.4. Hipótesis y variables .....	20
1.5. Operacionalización de las Variables.....	22
1.6. Metodología de la investigación .....	23
1.7. Procesamiento de la información .....	31
1.8 Justificación, importancia y limitaciones de la investigación .....	33
CAPÍTULO II: MARCO FILOSÓFICO.....	38
2.1.Marco filosófico.....	38
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	54
3.1. Antecedentes de la investigación .....	54
3.2. Base teórica.....	55
3.3. Marco Conceptual.....	59
CAPÍTULO IV: MODELACIÓN ECONOMETRICA DE LA PRODUCCIÓN AGRARIA .....	64
4.1. Enfoque general del modelo.....	64
4.2. Especificación teórica y forma funcional del modelo.....	66
4.3. Definición econométrica de variables.....	69
4.4. Signos esperados del modelo.....	74
4.5. Hipótesis econométricas .....	77
4.6. Prueba de cointegración (Bounds Test).....	81
4.7. Estimación econométrica base del modelo .....	82
4.8. Estimación del modelo ARDL y análisis dinámico .....	85
4.9. Prueba de cointegración (Bounds Test) y relación de largo plazo.....	89
4.10. Modelo de corrección de errores (ECM) y dinámica de ajuste hacia el equilibrio ..	91
4.11. Diagnósticos econométricos y estabilidad del modelo .....	95
CAPÍTULO V: RESULTADOS .....	99
5.1. Introducción a los resultados .....	99
5.2. Análisis descriptivo de las variables .....	100
5.3. Análisis de estacionariedad .....	103
5.4. Desarrollo y estimación del modelo econométrico .....	106

5.5. Estimación del modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL).....	108
5.6. Prueba de cointegración mediante el enfoque Bounds Test.....	112
5.7. Modelo de corrección de errores (ECM).....	115
5.8. Validación econométrica del modelo .....	119
5.9. Estabilidad del modelo .....	121
5.10. Robustez del modelo .....	122
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN CIENTÍFICA Y VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.....	127
6.1 Enfoque de la discusión de resultados .....	127
6.2 Contrastación de la hipótesis general.....	129
6.3 Contrastación de hipótesis específicas .....	132
CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	138
7.1 Discusión general: validación empírica del modelo y coherencia sistémica .....	138
7.2. Persistencia temporal: evidencia de dependencia estructural del sistema agrícola.....	140
7.3. Área cultivada: validación estructural y límites del crecimiento extensivo .....	142
7.4. Productividad agrícola: motor dinámico del crecimiento .....	144
7.5. Precipitación: rol condicionado del factor climático .....	147
7.6. Síntesis estructural del sistema agrícola .....	149
7.7. Comparación con la literatura científica.....	152
7.8. Implicancias analíticas .....	154
CAPITULO VIII – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	163
8.1. Conclusiones .....	163
8.2. Recomendaciones .....	165
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	167

## RESUMEN

El presente estudio analiza los determinantes de la producción agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025, mediante un enfoque econométrico de series de tiempo orientado a identificar las relaciones dinámicas de corto y largo plazo entre las principales variables explicativas. El objetivo central es evaluar la influencia del área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación sobre la dinámica productiva, en un contexto caracterizado por restricciones de recursos y creciente tecnificación.

Para ello, se emplea un modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), utilizando información proveniente de fuentes oficiales, lo que permite capturar simultáneamente la dinámica intertemporal del sistema y la existencia de relaciones de equilibrio de largo plazo entre las variables.

Los resultados evidencian una marcada persistencia temporal de la producción agrícola, lo que confirma la presencia de dependencia de trayectoria en el sistema productivo. Asimismo, se identifica un efecto positivo y significativo del área cultivada y, de manera más relevante, de la productividad agrícola, la cual emerge como el principal motor del crecimiento. Por su parte, la precipitación presenta un efecto positivo de menor magnitud, lo que sugiere un rol condicionado dentro de un sistema agrícola altamente tecnificado.

En conjunto, los hallazgos demuestran que la producción agrícola en la región Ica responde a un sistema dinámico, interdependiente y en proceso de transformación estructural, en el cual la eficiencia productiva adquiere un rol predominante frente a la expansión de recursos físicos. Este resultado evidencia una transición hacia un modelo agrícola intensivo, sustentado en tecnología, gestión y optimización de recursos.

El estudio aporta evidencia empírica relevante para la economía agrícola aplicada, al proponer un enfoque sistémico del crecimiento productivo y contribuir a la comprensión de los procesos de transformación agrícola en contextos regionales con restricciones de recursos. Asimismo, proporciona elementos clave para el diseño de políticas públicas orientadas a mejorar la eficiencia, sostenibilidad y resiliencia del sector agrícola.

**Palabras clave:** producción agrícola, modelo ARDL, series de tiempo, productividad agrícola, eficiencia productiva, Ica.

### **ABSTRACT**

This study analyzes the determinants of agricultural production in the Ica region (Peru) during the period 2000–2025, using a time-series econometric approach aimed at identifying both short- and long-run dynamics. The main objective is to assess the influence of cultivated area, agricultural productivity, and precipitation on production dynamics within a context characterized by resource constraints and increasing technological adoption.

An Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model is employed, based on official data sources, allowing for the simultaneous estimation of intertemporal relationships and long-run equilibrium among the variables. This methodology is particularly suitable given the mixed order of integration observed in the series.

The results reveal strong temporal persistence in agricultural production, confirming the presence of path dependence within the productive system. In addition, both cultivated area and agricultural productivity exhibit positive and statistically significant effects, with productivity emerging as the main driver of growth. Precipitation shows a positive but comparatively weaker effect, suggesting a conditional role within a highly technified agricultural system.

Overall, the findings demonstrate that agricultural production in the Ica region operates as a dynamic and interdependent system undergoing structural transformation, where productive efficiency plays a more decisive role than the expansion of physical resources. This reflects a transition toward an intensive agricultural model based on technology, resource optimization, and management efficiency.

This study contributes to applied agricultural economics by providing empirical evidence of a systemic approach to agricultural growth and by enhancing the understanding of

structural transformation processes in resource-constrained regional contexts. Furthermore, it offers relevant insights for the design of public policies aimed at improving efficiency, sustainability, and resilience in the agricultural sector.

**Keywords:** agricultural production, ARDL model, time series, agricultural productivity, productive efficiency, Ica, Peru.

# INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

El sector agrícola constituye uno de los pilares fundamentales del desarrollo económico, especialmente en regiones donde la actividad productiva depende de manera significativa del aprovechamiento eficiente de los recursos naturales. En este contexto, la región Ica se ha consolidado como uno de los principales polos agroproductivos del Perú, caracterizándose por su dinamismo, su orientación hacia mercados competitivos y su capacidad de adaptación a condiciones ambientales particulares.

Sin embargo, a pesar de este posicionamiento, el comportamiento de la producción agrícola en la región no puede ser explicado únicamente a partir de la disponibilidad de recursos o de su expansión en términos de superficie cultivada. Por el contrario, se trata de un sistema complejo en el que intervienen múltiples factores que interactúan de manera simultánea, condicionando tanto el nivel como la estabilidad del output agrícola.

En este sentido, la comprensión de los determinantes de la producción agrícola adquiere especial relevancia, no solo desde una perspectiva académica, sino también como insumo clave para la toma de decisiones en el ámbito productivo y de política pública. En particular, resulta necesario analizar cómo variables estructurales, productivas y climáticas influyen en el desempeño del sistema agrícola, considerando su comportamiento dinámico a lo largo del tiempo.

A diferencia de enfoques tradicionales que abordan el análisis productivo desde una perspectiva estática o basada en percepciones, la presente investigación adopta un enfoque cuantitativo sustentado en el uso de modelos econométricos de series de tiempo. Este enfoque permite estimar relaciones más precisas entre las variables, identificar patrones dinámicos y evitar sesgos asociados a interpretaciones subjetivas, contribuyendo así a la generación de conocimiento científico verificable.

En el marco de este análisis, se consideran como variables explicativas principales el área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación. Estas variables permiten capturar, respectivamente, la capacidad estructural del sistema productivo, su nivel de eficiencia y las condiciones climáticas que influyen en el desarrollo de los cultivos. De esta manera, se

configura un modelo que integra los principales componentes del proceso productivo agrícola, proporcionando una visión integral del fenómeno estudiado.

Asimismo, la investigación incorpora la dimensión temporal como un elemento central del análisis, reconociendo que la producción agrícola presenta persistencia y dependencia respecto a sus valores pasados. Este comportamiento implica que los resultados actuales no solo responden a condiciones contemporáneas, sino también a trayectorias productivas acumuladas, lo que justifica el uso de modelos dinámicos que permitan capturar dicha evolución.

En este contexto, se emplea el modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), el cual permite analizar simultáneamente relaciones de corto y largo plazo entre las variables. Este modelo resulta especialmente adecuado para el análisis de series de tiempo con tamaños de muestra moderados y variables con distintos órdenes de integración, lo que garantiza una estimación robusta y consistente de las relaciones económicas.

Los resultados obtenidos evidencian que la producción agrícola en la región Ica se encuentra determinada principalmente por factores estructurales y productivos, destacando el papel del área cultivada y, especialmente, de la productividad agrícola como elementos clave en la explicación del desempeño del sistema. Por su parte, la precipitación presenta un efecto relevante, aunque de menor magnitud, reflejando la influencia de las condiciones climáticas dentro de un contexto productivo parcialmente tecnificado.

Estos hallazgos permiten comprender que el crecimiento de la producción agrícola no depende únicamente de la expansión de los recursos, sino fundamentalmente de la eficiencia en su utilización. En este sentido, el sistema agrícola de la región Ica evidencia características propias de un modelo productivo en transición hacia esquemas más intensivos en eficiencia, donde la productividad adquiere un rol central.

Finalmente, la presente investigación contribuye al análisis económico del sector agrícola mediante la aplicación de herramientas econométricas que permiten capturar la

complejidad del sistema productivo, integrando teoría, evidencia empírica y dinámica temporal en un mismo marco analítico. Asimismo, sus resultados proporcionan información relevante para la formulación de estrategias orientadas a optimizar el uso de los recursos y fortalecer la sostenibilidad del sistema agrícola en la región Ica.

En coherencia con el problema de investigación, el modelo econométrico incorpora variables estructurales, productivas y climáticas —área cultivada, productividad agrícola y precipitación— con el propósito de explicar la dinámica de la producción agrícola en la región Ica. Este enfoque permite analizar simultáneamente relaciones de corto y largo plazo, proporcionando una comprensión integral del sistema productivo agrícola.

# Capítulo I

EL PROBLEMA Y EL PLANTEAMIENTO  
METODOLÓGICO

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA Y EL PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

### 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El análisis de la productividad y la producción agrícola ha adquirido una relevancia central en la economía aplicada, no solo por su relación directa con el crecimiento económico, sino también por su capacidad para explicar las diferencias en el desempeño de los sistemas productivos a nivel regional (Solow, 1956). Sin embargo, comprender la dinámica de la producción agrícola implica ir más allá de una visión tradicional centrada únicamente en los resultados, para adentrarse en los factores que, de manera conjunta, configuran su comportamiento.

En este contexto, el sector agrícola se presenta como un espacio particularmente complejo de análisis. A diferencia de otros sectores económicos, su desempeño no depende exclusivamente de variables como la inversión, la tecnología o la organización del trabajo, sino que está condicionado por una interacción constante entre factores estructurales, productivos y ambientales (Schultz, 1964). Esta característica convierte a la agricultura en un campo donde la lectura aislada de variables resulta insuficiente para explicar su funcionamiento real.

Dentro de este escenario, la región Ica constituye un caso de especial interés. Su consolidación como uno de los principales polos agrícolas del Perú responde tanto a estrategias productivas y comerciales como a un conjunto de condiciones naturales que han permitido el desarrollo intensivo de la actividad agrícola. No obstante, trasladar estas condiciones al análisis económico no resulta tan directo como podría suponerse.

En muchos casos, se ha asumido que la disponibilidad de condiciones favorables se traduce automáticamente en mayores niveles de producción, sin considerar que su impacto depende de la forma en que estas se articulan con otros factores dentro del sistema productivo. Esta simplificación ha limitado la comprensión integral del fenómeno agrícola, generando vacíos tanto en el análisis académico como en la toma de decisiones (Mendelsohn, Nordhaus, & Shaw, 1994).

De manera particular, en contextos como el de la región Ica, resulta evidente que factores como la disponibilidad hídrica, la extensión del área cultivada y el nivel de eficiencia productiva juegan un rol determinante. En este sentido, las condiciones ambientales no pueden ser abordadas de manera aislada, sino como parte de un sistema más amplio, donde su efecto puede verse potenciado o limitado por otros componentes.

Frente a esta realidad, se hace necesario adoptar enfoques metodológicos que permitan capturar esta complejidad de manera rigurosa. Tradicionalmente, muchos estudios en el ámbito agrícola han recurrido a enfoques descriptivos o perceptuales, los cuales, si bien aportan información relevante, presentan limitaciones al momento de establecer relaciones causales o cuantificar la magnitud de los efectos. En contraste, el uso de herramientas econométricas basadas en series de tiempo permite trabajar con datos observacionales reales, facilitando la identificación de relaciones dinámicas entre variables (Gujarati & Porter, 2021).

En este marco, la presente investigación se orienta a analizar los determinantes de la producción agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025, utilizando un enfoque econométrico basado en el modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL). Este enfoque permite no solo identificar la existencia de relaciones entre las variables, sino también capturar su comportamiento dinámico en el tiempo, incorporando efectos contemporáneos y rezagados (Pesaran, Shin, & Smith, 2001).

El análisis considera variables clave como el área cultivada, la productividad agrícola y las condiciones climáticas, representadas por la precipitación como aproximación al entorno ambiental. Esta selección responde a un proceso de depuración econométrica que prioriza la consistencia estadística y la capacidad explicativa del modelo, permitiendo evitar problemas como la colinealidad o la sobre especificación (Wooldridge, 2010).

Los resultados obtenidos evidencian que la producción agrícola en la región Ica presenta una fuerte persistencia temporal, lo que indica que su comportamiento actual está altamente condicionado por su trayectoria pasada. Este hallazgo es consistente con la

literatura de series de tiempo, donde la presencia de dependencia temporal refleja procesos económicos con memoria (Hamilton, 1994).

Asimismo, se confirma que el área cultivada constituye un determinante estructural significativo, mientras que la productividad agrícola emerge como el principal motor dinámico del sistema en el corto plazo. Por su parte, los factores climáticos muestran una influencia positiva, aunque de menor magnitud, lo cual sugiere que su rol dentro del sistema agrícola es más bien complementario que determinante.

Este resultado refleja una característica fundamental de la agricultura en la región Ica: su creciente nivel de tecnificación, particularmente en el uso de sistemas de riego, que permite reducir la dependencia directa de las condiciones climáticas (Mendelsohn et al., 1994).

En conjunto, estos resultados permiten comprender que la producción agrícola no puede explicarse a partir de un único factor, sino que responde a la interacción de múltiples dimensiones que operan de manera interdependiente. La evidencia sugiere que el sistema agrícola de la región Ica ha evolucionado hacia una estructura donde la eficiencia productiva y la gestión de recursos adquieren mayor relevancia que las condiciones naturales por sí solas.

Desde una perspectiva académica, el presente estudio contribuye a fortalecer el análisis de la economía agrícola mediante la incorporación de herramientas econométricas que permiten una aproximación más rigurosa y objetiva. Asimismo, aporta al debate metodológico al evidenciar que el uso de datos reales y modelos dinámicos constituye una alternativa sólida frente a enfoques exclusivamente descriptivos.

En el plano práctico, los resultados ofrecen elementos relevantes para la formulación de políticas orientadas a mejorar la eficiencia productiva y la sostenibilidad del sistema agrícola. Comprender la interacción entre factores estructurales, productivos y ambientales permite diseñar estrategias más integrales, orientadas no solo a incrementar la producción, sino también a garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

Finalmente, esta investigación plantea la necesidad de avanzar hacia una visión sistémica de la producción agrícola, reconociendo que los sistemas productivos no operan de manera aislada, sino como parte de un entramado complejo donde confluyen factores económicos, ambientales y tecnológicos.

## **1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 Problema general**

¿En qué medida el área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación explican de manera estadísticamente significativa la producción agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025, considerando su comportamiento dinámico de corto y largo plazo?

### **1.2.2 Problemas específicos**

1. ¿El área cultivada presenta un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre la producción agrícola en la región Ica?
2. ¿La productividad agrícola presenta un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre la producción agrícola, evidenciando además un comportamiento dinámico a través de sus efectos rezagados?
3. ¿La precipitación presenta un efecto estadísticamente significativo sobre la producción agrícola, aun cuando su magnitud sea inferior en comparación con los factores estructurales y productivos?
4. ¿La incorporación conjunta del área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación incrementa significativamente la capacidad explicativa del modelo econométrico de la producción agrícola?

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar y estimar los determinantes de la producción agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025, mediante la aplicación de modelos econométricos de series de tiempo, con el fin de identificar la influencia de factores estructurales, productivos y climáticos.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Estimar el efecto del área cultivada sobre la producción agrícola en la región Ica, evaluando su significancia estadística mediante modelos econométricos.
2. Estimar el impacto de la productividad agrícola en la dinámica de la producción, considerando sus efectos de corto plazo y su comportamiento rezagado.
3. Evaluar el efecto de la precipitación sobre la producción agrícola en la región Ica, determinando su significancia estadística.
4. Evaluar la capacidad explicativa y la robustez del modelo econométrico al incorporar variables estructurales, productivas y climáticas en el análisis de la producción agrícola.

## **1.4 HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **1.4.1 Hipótesis general**

La producción agrícola en la región Ica está determinada de manera estadísticamente significativa por factores estructurales, productivos y climáticos, particularmente el área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación, durante el periodo 2000–2025.

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

#### **Hipótesis específica 1**

El área cultivada presenta un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre la producción agrícola en la región Ica.

#### **Hipótesis específica 2**

La productividad agrícola presenta un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre la producción agrícola en el corto plazo, evidenciando además un comportamiento dinámico a través de sus efectos rezagados.

#### **Hipótesis específica 3**

La precipitación presenta un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre la producción agrícola, con una magnitud inferior en comparación con los factores estructurales y productivos.

#### **Hipótesis específica 4**

La incorporación conjunta de variables estructurales, productivas y climáticas incrementa significativamente la capacidad explicativa del modelo econométrico de la producción agrícola en la región Ica.

### 1.5. Operacionalización de las Variables

Tabla 1 Operacionalización de las variables

Hipótesis General	Variable X1		Variable X2		Variable X3		Variable Y	
La producción agrícola en la región Ica está determinada de manera significativa por factores estructurales y productivos, particularmente el área cultivada, la productividad agrícola y las condiciones climáticas durante el periodo 2000–2025.	Área cultivada		Productividad agrícola		Precipitación		Producción agrícola	
Hipótesis Específica	Dimensiones	Indicadores	Dimensiones	Indicadores	Dimensiones	Indicadores	Dimensiones	Indicadores
El área cultivada tiene un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre la producción agrícola en la región Ica.	Factor estructural	Superficie cultivada (hectáreas)					Producción total	Producción agrícola total (toneladas)
La productividad agrícola tiene un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre la producción agrícola en el corto plazo, evidenciando además un comportamiento dinámico a través de sus efectos rezagados			Eficiencia productiva	Rendimiento agrícola (tn/ha)			Dinámica productiva	Producción agrícola (ln_prod) y rezago (L1.ln_prod)
Las condiciones climáticas, representadas por la precipitación, tienen un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre la producción agrícola, con una magnitud inferior en comparación con los factores estructurales y productivos.		-			Factor climático	Nivel de precipitación (mm)	Sensibilidad climática	Variación de producción ante cambios climáticos
La incorporación conjunta de variables estructurales, productivas y climáticas incrementa significativamente la capacidad explicativa del modelo econométrico de la producción agrícola en la región Ica.	Modelo estructural	ln_area	Modelo productivo	prod_agri	Modelo climático	precip	Capacidad explicativa	R <sup>2</sup> , R <sup>2</sup> ajustado, Prob > F

## **1.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1 Enfoque de la investigación**

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, orientado al análisis riguroso, objetivo y verificable de los determinantes de la producción agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025. Este enfoque permite traducir fenómenos económicos complejos en variables medibles, facilitando la identificación de relaciones funcionales entre ellas y la contrastación empírica de hipótesis mediante herramientas estadísticas y econométricas.

Desde la perspectiva científica, el enfoque cuantitativo se fundamenta en la necesidad de generar conocimiento basado en evidencia observable, replicable y susceptible de validación. En este sentido, la investigación no se limita a describir el comportamiento de la producción agrícola, sino que busca explicar las relaciones subyacentes que la determinan, considerando la interacción entre factores estructurales, productivos y climáticos.

El uso de modelos econométricos de series de tiempo constituye un elemento central del enfoque adoptado, ya que permite analizar la evolución temporal de las variables y capturar la dinámica inherente al sistema agrícola. En particular, la aplicación del modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL) posibilita integrar variables con diferentes órdenes de integración, estimar relaciones de corto y largo plazo, y evaluar la persistencia temporal de la producción agrícola.

Asimismo, este enfoque contribuye a superar las limitaciones de estudios basados exclusivamente en percepciones o descripciones cualitativas, al proporcionar estimaciones cuantificables de la magnitud y significancia de los efectos analizados. De esta manera, se fortalece la validez interna del estudio y se garantiza una base sólida para la interpretación de los resultados.

En consecuencia, el enfoque cuantitativo adoptado en la presente investigación permite no solo comprender el comportamiento de la producción agrícola en la región Ica, sino también generar evidencia científica útil para la toma de decisiones y el diseño de políticas orientadas al desarrollo sostenible del sector agrícola.

### **1.6.2 Tipo de investigación**

La presente investigación se clasifica como aplicada, en la medida en que tiene como propósito generar conocimiento orientado a la comprensión y mejora de un problema concreto en el ámbito agrícola, específicamente la dinámica de la producción agrícola en la región Ica. A diferencia de la investigación básica, cuyo objetivo principal es ampliar el conocimiento teórico sin una aplicación inmediata, la investigación aplicada busca producir evidencia empírica que contribuya a la toma de decisiones y al diseño de estrategias que permitan optimizar el desempeño del sistema productivo. En este contexto, el estudio adquiere relevancia práctica al analizar los factores que determinan la producción agrícola, tales como el área cultivada, la productividad agrícola y las condiciones climáticas, permitiendo identificar los elementos clave que inciden en el comportamiento del sistema. Los resultados obtenidos no solo aportan al conocimiento académico, sino que también pueden ser utilizados para orientar políticas públicas, mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y fortalecer la sostenibilidad del sector agrícola.

Asimismo, la investigación es de tipo explicativa, dado que se orienta a identificar y analizar las relaciones causales entre las variables de estudio. En particular, se busca explicar cómo los factores estructurales, productivos y climáticos influyen en la producción agrícola, evaluando la dirección, magnitud y significancia de dichos efectos. Este tipo de investigación va más allá de la simple descripción de fenómenos, permitiendo comprender los mecanismos que los generan y las condiciones bajo las cuales se manifiestan.

Desde una perspectiva metodológica, el carácter explicativo del estudio se sustenta en el uso de modelos econométricos de series de tiempo, los cuales permiten estimar relaciones funcionales entre variables y contrastar hipótesis de manera rigurosa. En este sentido, la investigación no solo identifica asociaciones, sino que profundiza en la explicación del comportamiento dinámico del sistema agrícola, incorporando efectos contemporáneos y rezagados.

Adicionalmente, el estudio presenta un enfoque correlacional-explicativo, en la medida en que inicialmente identifica relaciones entre variables y posteriormente las somete a análisis

econométrico para determinar su consistencia y significancia estadística. Este enfoque permite articular el análisis empírico con el marco teórico, garantizando una interpretación integral del fenómeno estudiado.

En conjunto, la investigación combina un carácter aplicado y explicativo, lo que le permite no solo analizar el comportamiento de la producción agrícola, sino también generar conocimiento útil, transferible y científicamente sustentado, contribuyendo tanto al desarrollo académico como a la mejora de la gestión agrícola en la región Ica.

### **1.6.3 Diseño de investigación**

El diseño de la presente investigación es de tipo no experimental, dado que las variables objeto de estudio no son manipuladas deliberadamente, sino analizadas en su contexto natural a partir de datos observacionales. Este enfoque resulta pertinente en estudios económicos y agrícolas, donde no es posible intervenir directamente sobre los factores que determinan el comportamiento del sistema productivo, tales como el área cultivada, la productividad agrícola o las condiciones climáticas.

Desde esta perspectiva, el estudio se basa en la observación sistemática de la realidad, utilizando información histórica proveniente de fuentes oficiales, lo que permite analizar la evolución de la producción agrícola en la región Ica sin alterar las condiciones en las que se genera el fenómeno. Este tipo de diseño garantiza una mayor validez externa, ya que los resultados reflejan el comportamiento real del sistema en su entorno natural.

Asimismo, la investigación presenta un diseño longitudinal de series de tiempo, al considerar observaciones correspondientes a un periodo continuo comprendido entre los años 2000 y 2025. Este enfoque permite examinar la dinámica temporal de las variables, identificando patrones de comportamiento, tendencias, ciclos y relaciones de dependencia entre el pasado y el presente de la producción agrícola.

El carácter longitudinal del estudio es fundamental para la aplicación de modelos econométricos dinámicos, como el modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), el cual requiere información temporal para capturar efectos contemporáneos y rezagados entre las variables. En este sentido, el diseño adoptado no solo permite describir la evolución del fenómeno, sino también explicar su comportamiento a través del tiempo, incorporando la persistencia temporal como elemento clave del análisis.

Adicionalmente, el diseño de investigación se complementa con un enfoque explicativo-dinámico, orientado a identificar las relaciones causales entre variables y a comprender los mecanismos que determinan la producción agrícola. A diferencia de enfoques estáticos, el presente estudio reconoce que los sistemas productivos agrícolas presentan una dinámica compleja, donde los efectos no se manifiestan de manera inmediata, sino que se desarrollan progresivamente en el tiempo.

En conjunto, el diseño no experimental, longitudinal y dinámico adoptado en la presente investigación permite analizar la producción agrícola desde una perspectiva integral, combinando el rigor metodológico con la pertinencia empírica, lo que fortalece la consistencia de los resultados y su aplicabilidad en el contexto real de la región Ica.

#### **1.6.4 Unidad de análisis**

La unidad de análisis de la presente investigación está constituida por la producción agrícola anual de la región Ica, observada a lo largo del periodo 2000–2025, en relación con las variables explicativas consideradas en el modelo econométrico, tales como el área cultivada, la productividad agrícola y las condiciones climáticas representadas por la precipitación.

Desde una perspectiva metodológica, la unidad de análisis se define como el elemento básico sobre el cual se realiza la observación, medición y análisis de las variables de estudio. En el presente caso, cada unidad corresponde a una observación temporal anual, lo que implica que el estudio se

estructura bajo un enfoque de series de tiempo, donde el interés radica en analizar la evolución dinámica del sistema productivo agrícola a lo largo del tiempo.

A diferencia de investigaciones basadas en unidades individuales o espaciales, el presente estudio se centra en una dimensión agregada, considerando que cada año representa una manifestación específica del comportamiento del sistema agrícola en la región. Este enfoque resulta coherente con la naturaleza del modelo econométrico utilizado, el cual busca identificar relaciones estructurales y dinámicas entre variables agregadas en el tiempo.

Asimismo, la selección de la región Ica como ámbito de estudio responde a su relevancia dentro del sector agrícola peruano, caracterizado por un alto nivel de especialización productiva, uso intensivo de recursos y condiciones climáticas particulares. Estas características convierten a la región en un escenario adecuado para analizar la interacción entre factores estructurales, productivos y ambientales en la determinación de la producción agrícola.

Desde el punto de vista econométrico, la unidad de análisis se integra en una estructura de datos de tipo serie temporal multivariable, en la que se observan múltiples variables en un mismo ámbito geográfico a lo largo del tiempo. Esta configuración permite aplicar técnicas de análisis dinámico, evaluar relaciones de corto y largo plazo, y capturar efectos de persistencia en la producción agrícola.

Finalmente, el uso de datos agregados a nivel regional implica que los resultados deben interpretarse en términos macroproductivos, evitando inferencias a nivel individual. No obstante, este nivel de agregación permite identificar patrones estructurales relevantes y generar evidencia útil para la formulación de políticas públicas y estrategias de gestión agrícola en la región Ica.

### **1.6.5 Población y muestra**

En el marco de la presente investigación, la definición de la población y la muestra se aborda desde la lógica propia de los estudios de series de tiempo, en los cuales el análisis no se centra en unidades individuales, sino en la evolución temporal de variables agregadas.

Desde una perspectiva metodológica, la población está constituida por el conjunto total de observaciones posibles de la producción agrícola y de las variables explicativas asociadas en la región Ica a lo largo del tiempo. En este sentido, la población se concibe como la totalidad de registros temporales que describen el comportamiento del sistema productivo agrícola en el ámbito de estudio.

No obstante, debido a la disponibilidad de información estadística confiable, homogénea y sistematizada, la investigación se circunscribe al periodo comprendido entre los años 2000 y 2025, el cual representa el horizonte temporal más adecuado para el análisis, tanto por la calidad de los datos como por la relevancia reciente de los fenómenos estudiados.

En este contexto, la muestra está conformada por la serie temporal completa correspondiente a dicho periodo, es decir, por todas las observaciones anuales disponibles de las variables de interés. Dado que se trabaja con la totalidad de la información disponible dentro del rango temporal definido, se trata de una muestra censal, lo que implica que no se realiza un proceso de selección probabilística ni se incurre en errores muestrales asociados a la estimación.

Desde el punto de vista econométrico, este enfoque resulta adecuado, ya que en los modelos de series de tiempo el objetivo no es generalizar resultados a partir de una muestra, sino analizar la dinámica interna de las variables a lo largo del tiempo. En este sentido, el uso de una muestra censal permite maximizar la eficiencia de las estimaciones, mejorar la precisión de los resultados y garantizar una mayor consistencia en la inferencia estadística.

Asimismo, es importante señalar que el tamaño de la muestra, determinado por el número de periodos disponibles, constituye un aspecto relevante en la selección de las técnicas econométricas. En este caso, el número de observaciones es consistente con la aplicación de modelos como Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y el modelo ARDL, los cuales han demostrado ser apropiados en contextos de muestras relativamente pequeñas y con variables de diferente orden de integración.

En consecuencia, la definición de la población y la muestra en la presente investigación garantiza coherencia con el diseño metodológico adoptado, la disponibilidad de datos y la estrategia econométrica planteada, permitiendo un análisis riguroso, consistente y científicamente válido del comportamiento de la producción agrícola en la región Ica.

#### **1.6.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **1.6.6.1 Técnicas de recolección de datos**

La presente investigación emplea como técnica principal la revisión documental y estadística, la cual consiste en la recopilación, sistematización y análisis de información proveniente de fuentes secundarias oficiales. Esta técnica resulta especialmente adecuada en estudios de naturaleza cuantitativa y de series de tiempo, ya que permite acceder a datos históricos consistentes, comparables y verificables.

Desde una perspectiva metodológica, la revisión documental facilita el análisis de fenómenos económicos a partir de registros elaborados por instituciones especializadas, lo que contribuye a reducir sesgos asociados a la recolección directa de información y garantiza un mayor nivel de confiabilidad en los datos utilizados. Asimismo, esta técnica permite construir series temporales homogéneas, requisito fundamental para la aplicación de modelos econométricos dinámicos.

En el contexto de la presente investigación, la revisión documental se orienta a la obtención de información relacionada con la producción agrícola, el área cultivada, la productividad agrícola y las

condiciones climáticas representadas por la precipitación, variables que constituyen la base del modelo econométrico propuesto.

#### **1.6.6.2 Fuentes de información**

Las principales fuentes de información utilizadas en la investigación corresponden a instituciones oficiales que generan y sistematizan datos estadísticos relevantes para el análisis del sector agrícola en el Perú. Entre ellas se destacan:

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI): información sobre producción agrícola y estadísticas económicas.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI): datos relacionados con superficie cultivada, rendimiento y producción agrícola.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI): información climática, particularmente datos de precipitación.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA): información complementaria sobre recursos hídricos y condiciones del entorno agrícola.

El uso de estas fuentes garantiza la calidad, confiabilidad y consistencia de la información, dado que se trata de instituciones que emplean metodologías estandarizadas en la generación de datos.

#### **1.6.6.3 Instrumento de recolección de datos**

El instrumento utilizado en la presente investigación consiste en una base de datos estructurada en formato digital, construida a partir de la sistematización de la información recopilada de las fuentes mencionadas.

Esta base de datos se organiza bajo una estructura de serie temporal anual, correspondiente al periodo 2000–2025, e incluye las siguientes variables:

- Producción agrícola (ln\_prod) – variable dependiente
- Área cultivada (ln\_area) – variable estructural
- Productividad agrícola (prod\_agri) – variable productiva

- Precipitación (precip) – variable climática

Desde una perspectiva técnica, este instrumento cumple una función central en el proceso de investigación, ya que permite transformar datos dispersos en información estructurada, facilitando su análisis mediante software econométrico, particularmente Stata 17.

Asimismo, la organización de la base de datos garantiza la consistencia temporal de las variables, permitiendo su uso en la estimación de modelos dinámicos como el modelo ARDL, el cual requiere series homogéneas y comparables en el tiempo.

### **1.7. Procesamiento de la información**

El procesamiento de la información constituye una etapa fundamental en la presente investigación, en la medida en que permite transformar los datos recopilados en evidencia empírica consistente, apta para el análisis econométrico y la contrastación de hipótesis. Este proceso se desarrolló de manera secuencial y rigurosa, garantizando la calidad, coherencia y confiabilidad de la base de datos utilizada.

En una primera etapa, se realizó la depuración y validación de los datos, verificando la consistencia de las series temporales, la ausencia de valores atípicos no justificados y la homogeneidad de las unidades de medida. Este proceso incluyó la revisión cruzada de las fuentes oficiales, con el fin de asegurar la integridad de la información y evitar distorsiones en los resultados.

Posteriormente, se procedió a la transformación de las variables, aplicando logaritmos naturales a aquellas que presentaban diferencias significativas de escala, particularmente la producción agrícola y el área cultivada. Esta transformación permitió estabilizar la varianza, reducir la dispersión de los datos y facilitar la interpretación económica de los coeficientes en términos de elasticidades.

En una segunda etapa, se llevó a cabo el análisis exploratorio de las series, mediante la evaluación de estadísticas descriptivas, identificación de tendencias y comportamiento general de las

variables a lo largo del tiempo. Este análisis permitió detectar patrones preliminares y orientar la especificación del modelo econométrico.

Seguidamente, se aplicaron pruebas de estacionariedad, particularmente la prueba de Dickey-Fuller aumentada (ADF), con el objetivo de determinar el orden de integración de las variables. Este paso resultó clave para la selección del modelo econométrico adecuado, considerando la coexistencia de variables integradas de orden  $I(0)$  e  $I(1)$ .

En función de estos resultados, se procedió a la especificación del modelo econométrico, adoptando el modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), el cual permite analizar relaciones dinámicas entre variables con distintos órdenes de integración y resulta apropiado en contextos de muestras relativamente pequeñas.

Posteriormente, se realizó la estimación del modelo, incorporando tanto efectos contemporáneos como rezagados de las variables explicativas, así como el rezago de la variable dependiente, con el fin de capturar la persistencia temporal del sistema productivo agrícola.

Una vez estimado el modelo, se llevó a cabo la evaluación de los supuestos econométricos, incluyendo pruebas de autocorrelación, heterocedasticidad y estabilidad de los parámetros, con el objetivo de garantizar la validez estadística de los resultados.

Asimismo, se analizó la existencia de relaciones de largo plazo mediante pruebas de cointegración, lo que permitió identificar si las variables mantienen un equilibrio estable a lo largo del tiempo. En caso afirmativo, se procedió a la estimación del modelo de corrección de errores (ECM), el cual permite diferenciar los efectos de corto y largo plazo.

Finalmente, se realizó la interpretación integral de los resultados, evaluando la significancia estadística, la magnitud de los coeficientes y su coherencia con la teoría económica. Este análisis

permitió contrastar las hipótesis planteadas y comprender la dinámica de la producción agrícola en la región Ica.

El procesamiento de la información se llevó a cabo utilizando el software econométrico Stata 17, el cual permitió ejecutar de manera eficiente cada una de las etapas descritas, asegurando precisión en las estimaciones y robustez en los resultados.

## **1.8 Justificación, importancia y limitaciones de la investigación**

### **Justificación de la investigación**

#### **Justificación práctica**

El presente proyecto de investigación se plantea con la finalidad de comprender en la realidad productiva de la región Ica las diferentes formas en que se desarrolla la producción agraria y su comportamiento en función de variables estructurales, productivas y climáticas. En particular, se busca analizar cómo interactúan factores como el área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación en la determinación del nivel de producción agrícola, especialmente en un contexto caracterizado por limitaciones hídricas y alta tecnificación.

Asimismo, la investigación resulta relevante para los actores del sector agrario, tales como productores, empresas agroexportadoras y entidades públicas, en la medida en que permite identificar los factores que influyen en el desempeño productivo. Esto adquiere especial importancia en el caso de la región Ica, donde la actividad agrícola constituye uno de los principales motores económicos y donde las decisiones sobre el uso de recursos deben ser cada vez más eficientes.

#### **Justificación metodológica**

En el ámbito metodológico, se ha observado que muchos estudios sobre producción agraria se han desarrollado bajo enfoques estáticos, los cuales no logran capturar la dinámica temporal del sistema productivo. En ese sentido, la presente investigación incorpora un enfoque econométrico

dinámico mediante el uso de modelos de series de tiempo, específicamente el modelo ARDL, el cual permite analizar relaciones de corto y largo plazo entre variables.

De igual manera, en diversos contextos académicos y técnicos se ha incrementado el uso de herramientas econométricas avanzadas para el análisis de la producción agrícola, lo cual evidencia la necesidad de fortalecer las capacidades analíticas en este campo. En este sentido, el estudio contribuye a la aplicación de metodologías modernas que permiten una mejor comprensión del comportamiento de la producción agraria, facilitando su replicabilidad en otros contextos regionales.

### **Justificación científica**

Desde el punto de vista científico, la investigación aborda la relación entre variables fundamentales de la producción agraria, integrando enfoques teóricos de la economía agrícola con herramientas econométricas aplicadas. En muchos casos, los estudios existentes analizan estos factores de manera aislada, sin considerar su interacción dentro de un sistema dinámico.

En este contexto, el estudio representa una oportunidad para contribuir al conocimiento científico al analizar de manera conjunta los efectos del área cultivada, la productividad y la precipitación sobre la producción agrícola. Asimismo, permite incorporar el análisis de la persistencia temporal, elemento clave en la comprensión de los sistemas productivos.

De esta manera, la investigación no solo aporta evidencia empírica, sino que también fortalece el marco analítico para el estudio de la producción agraria en contextos similares al de la región Ica.

### **Importancia de la investigación**

La importancia de la presente investigación radica en que permite comprender los factores que determinan la producción agraria, lo cual resulta fundamental para mejorar el desempeño del sector agrícola. En muchos casos, las decisiones productivas se basan en criterios empíricos o tradicionales, sin considerar un análisis riguroso de las variables que influyen en la producción.

En este sentido, el estudio contribuye a identificar los elementos clave que inciden en la producción agrícola, permitiendo orientar estrategias que mejoren la eficiencia en el uso de los recursos. Esto resulta especialmente relevante en contextos como el de la región Ica, donde la disponibilidad de agua y la presión sobre los recursos naturales representan desafíos importantes.

Asimismo, la investigación tiene un impacto significativo en la planificación y formulación de políticas públicas, en la medida en que proporciona información que puede ser utilizada para diseñar estrategias orientadas al desarrollo sostenible del sector agrícola.

Por otro lado, la importancia del estudio también se refleja en su aporte académico, al generar evidencia empírica que puede ser utilizada como base para futuras investigaciones en el ámbito de la economía agrícola.

### **Limitaciones de la investigación**

La presente investigación presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas en la interpretación de los resultados.

En primer lugar, el estudio se basa en datos secundarios, lo que implica depender de la calidad y disponibilidad de la información estadística. En algunos casos, pueden existir restricciones en la cobertura o consistencia de los datos.

En segundo lugar, el análisis se centra en un conjunto específico de variables (área cultivada, productividad y precipitación), por lo que no se incluyen otros factores que también podrían influir en la producción agraria, tales como variables tecnológicas, institucionales o de mercado.

Asimismo, el estudio se limita a la región Ica, lo que implica que los resultados no necesariamente pueden ser generalizados a otros contextos con características diferentes.

Finalmente, si bien el modelo econométrico utilizado permite analizar relaciones dinámicas, como todo modelo, representa una simplificación de la realidad, por lo que los resultados deben interpretarse dentro del marco de las variables consideradas.

# Capítulo II

MARCO FILOSÓFICO

## CAPÍTULO II: MARCO FILOSÓFICO

### 2.1. Marco filosófico

#### 2.1.1 La necesidad de un fundamento filosófico en el análisis de la productividad

El estudio de la producción agrícola, particularmente en contextos complejos como el de la región Ica, no puede reducirse a un análisis estrictamente técnico ni a la aplicación mecánica de herramientas cuantitativas. Si bien la econometría permite estimar relaciones entre variables y cuantificar efectos, su alcance interpretativo resulta limitado si no se sustenta en una reflexión conceptual más amplia que permita comprender la naturaleza del fenómeno productivo en toda su complejidad.

En este sentido, la incorporación de un fundamento filosófico responde a la necesidad de establecer los supuestos desde los cuales se interpreta la realidad económica. La producción agrícola no constituye únicamente un resultado observable expresado en términos de volumen o rendimiento, sino que representa la manifestación de un sistema dinámico en el que confluyen factores estructurales, productivos y ambientales. Variables como el área cultivada, la productividad agrícola y las condiciones climáticas no operan de manera independiente, sino que interactúan dentro de un entramado que condiciona su efecto sobre el resultado final.

Desde esta perspectiva, el análisis de la producción agrícola exige superar una visión fragmentada del conocimiento. No se trata únicamente de responder cuánto se produce, sino de comprender por qué se generan determinados niveles de producción bajo ciertas condiciones. Esta distinción resulta fundamental, ya que permite transitar de una lógica descriptiva a una lógica explicativa, en la que el interés se centra en los procesos que dan origen a los resultados observados.

En el caso de la región Ica, esta reflexión adquiere una relevancia particular. Tradicionalmente, se ha tendido a asociar el desempeño agrícola con la disponibilidad de recursos naturales favorables. Sin embargo, la evidencia muestra que la existencia de dichos recursos no garantiza por sí misma mayores niveles de producción. Su impacto depende de la forma en que son gestionados, de la eficiencia productiva alcanzada y de las condiciones estructurales del sistema agrícola.

Este reconocimiento introduce una distinción clave entre la presencia de recursos y su capacidad efectiva de generar resultados productivos. Los recursos no operan de manera automática ni determinista; por el contrario, su efecto se encuentra mediado por múltiples factores que condicionan su aprovechamiento. En consecuencia, la producción agrícola no puede explicarse como el resultado directo de un solo elemento, sino como la expresión de un sistema interdependiente.

La incorporación de un fundamento filosófico permite, por tanto, dotar de coherencia al análisis, integrando el problema de investigación, los objetivos, la metodología y la interpretación de los resultados dentro de una misma lógica conceptual. Asimismo, contribuye a evitar interpretaciones simplistas o reduccionistas, reconociendo la complejidad inherente al sistema productivo agrícola.

Finalmente, este enfoque refuerza la idea de que el conocimiento científico no se limita a la medición de variables, sino que implica la capacidad de explicar la realidad en su complejidad. En este sentido, el análisis de la producción agrícola en la región Ica se configura no solo como un ejercicio econométrico, sino como un proceso de comprensión profunda de un sistema en el que los resultados productivos emergen de la interacción entre múltiples dimensiones, cuya articulación determina el desempeño del sector.

### **2.1.2 Ontología del sistema productivo: entre la evidencia y la estructura**

Desde una perspectiva ontológica, la presente investigación se sustenta en el enfoque del realismo crítico, el cual parte del reconocimiento de que existe una realidad objetiva, independiente de la percepción del investigador, pero cuya comprensión no es inmediata ni completamente observable. Este enfoque plantea que los fenómenos empíricos constituyen solo una parte de la realidad, siendo necesario identificar las estructuras y mecanismos subyacentes que los generan.

En este marco, la producción agrícola no se concibe como un dato aislado ni como una simple expresión cuantitativa del resultado productivo, sino como la manifestación observable de un sistema estructurado en el que interactúan múltiples factores. Lo que se observa —como los niveles

de producción agrícola— corresponde al plano empírico; sin embargo, su explicación requiere analizar los procesos y relaciones que operan en un nivel más profundo.

En el contexto de la presente investigación, la producción agrícola en la región Ica se entiende como el resultado de la interacción entre factores estructurales, productivos y climáticos, tales como el área cultivada, la productividad agrícola y las condiciones ambientales. Estas variables no actúan de manera independiente ni lineal, sino que forman parte de una estructura interrelacionada que condiciona tanto la magnitud como la dirección de sus efectos.

Desde esta perspectiva, el realismo crítico permite distinguir entre tres niveles de la realidad: el nivel empírico (lo observable), el nivel actual (los eventos que ocurren) y el nivel real (los mecanismos causales que explican dichos eventos). En este sentido, la producción agrícola corresponde al nivel empírico; las variaciones en el tiempo representan el nivel actual; y la interacción entre los factores productivos y estructurales constituye el nivel real donde se generan los mecanismos explicativos.

Esta forma de entender la realidad tiene implicancias directas en el enfoque de análisis. Supone que no es suficiente identificar correlaciones entre variables, sino que es necesario comprender las estructuras que explican dichas relaciones. En este sentido, la econometría se configura como una herramienta que permite aproximarse a estos mecanismos, proporcionando evidencia empírica sobre la forma en que los factores interactúan en el sistema productivo.

Asimismo, esta postura ontológica permite superar una de las limitaciones más frecuentes en el análisis económico: la tendencia a tratar las variables como entidades independientes. En contraste, el enfoque adoptado reconoce que las variables forman parte de un sistema interdependiente, en el que los efectos observados son el resultado de relaciones complejas y dinámicas.

En el caso de la región Ica, esta visión resulta particularmente relevante, dado que el desempeño del sistema agrícola no depende de un único factor, sino de la articulación entre recursos, eficiencia productiva y condiciones ambientales. Esto implica que un mismo nivel de un factor puede generar resultados distintos dependiendo del contexto en el que se inserta.

Finalmente, la ontología adoptada refuerza la idea de que el conocimiento científico no consiste únicamente en describir lo observable, sino en explicar los mecanismos que lo hacen posible. En este sentido, el análisis de la producción agrícola se plantea como un ejercicio de comprensión estructural, en el que los datos son interpretados como expresiones de un sistema complejo, cuya dinámica solo puede ser entendida a partir de la interacción entre sus componentes.

### **2.1.3 Epistemología de la investigación: conocimiento, evidencia y contrastación**

Desde una perspectiva epistemológica, la presente investigación se sitúa en un enfoque de empirismo analítico, en el cual el conocimiento científico se construye a partir de la observación sistemática de la realidad, pero requiere ser organizado, modelado y contrastado para adquirir significado explicativo. Este enfoque reconoce que los datos constituyen el punto de partida del conocimiento, pero no su forma final.

En el ámbito de la economía aplicada, y particularmente en el análisis de la producción agrícola, la realidad no se presenta de manera directa ni transparente. Por el contrario, los fenómenos observables —como los niveles de producción— son el resultado de múltiples interacciones que deben ser reconstruidas mediante herramientas analíticas. En este sentido, el conocimiento no surge de la simple acumulación de datos, sino de su interpretación dentro de un marco teórico y metodológico coherente.

La presente investigación asume que los datos, por sí mismos, no explican la realidad; es a través de su estructuración y análisis que se convierten en evidencia científica. En este proceso, la econometría desempeña un rol central, al permitir traducir relaciones teóricas en modelos

cuantificables, estimar la magnitud de los efectos y evaluar su significancia estadística. De este modo, la modelación econométrica se configura como el puente entre la teoría y la evidencia.

El proceso de construcción del conocimiento en la investigación se articula en tres momentos fundamentales: la formulación de hipótesis, la estimación de modelos econométricos y la contrastación empírica de resultados. Cada uno de estos momentos implica decisiones metodológicas que deben ser consistentes con la naturaleza del fenómeno estudiado. En el caso de la producción agrícola, esto supone considerar su carácter dinámico, la interacción entre variables y la necesidad de incorporar efectos temporales en el análisis.

En este sentido, el uso del modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL) responde a una lógica epistemológica orientada a capturar la complejidad del sistema productivo. Este modelo permite analizar relaciones de corto y largo plazo, integrar variables con distintos órdenes de integración y reconocer la existencia de persistencia temporal en la producción agrícola. Así, la elección metodológica no es arbitraria, sino coherente con la forma en que se concibe la realidad.

Asimismo, el enfoque epistemológico adoptado reconoce la importancia de la contrastabilidad como criterio de validez científica. Las hipótesis planteadas deben ser susceptibles de verificación empírica, lo que implica que los resultados obtenidos puedan ser evaluados en términos de significancia estadística y coherencia teórica. En este marco, la evidencia empírica no se asume como una verdad absoluta, sino como un resultado que debe ser interpretado críticamente.

Otro aspecto fundamental es la distinción entre correlación y causalidad. En el análisis econométrico, la existencia de una relación estadística entre variables no implica necesariamente una relación causal. Por ello, la investigación incorpora una especificación adecuada del modelo, el uso de variables relevantes y la evaluación de supuestos econométricos, con el fin de aproximarse a explicaciones causales más robustas.

Por otro lado, el conocimiento generado se concibe como provisional y perfectible. La realidad económica es dinámica y está sujeta a cambios, por lo que los modelos representan aproximaciones que pueden ser mejoradas a partir de nueva evidencia o enfoques alternativos. Esta visión crítica evita interpretaciones deterministas y refuerza el carácter abierto del conocimiento científico.

Finalmente, el enfoque epistemológico adoptado establece una clara diferencia con los estudios basados exclusivamente en percepciones o valoraciones subjetivas. La presente investigación privilegia el uso de datos observacionales provenientes de fuentes oficiales, lo que garantiza la objetividad, la replicabilidad y la validez de los resultados. En este sentido, la econometría no solo se constituye como una herramienta técnica, sino como un medio para construir conocimiento riguroso, articulando teoría, evidencia y método en un proceso coherente.

En consecuencia, el análisis de la producción agrícola en la región Ica no se limita a identificar relaciones entre variables, sino que busca generar explicaciones fundamentadas, verificables y útiles, contribuyendo tanto al desarrollo académico como a la toma de decisiones en el ámbito agrícola.

#### **2.1.4 La explicación científica: de la correlación a la causalidad**

El desarrollo de la presente investigación se sustenta en una concepción de la ciencia orientada no solo a la descripción de los fenómenos, sino fundamentalmente a su explicación. En este sentido, el conocimiento científico adquiere valor en la medida en que permite comprender los mecanismos que generan los resultados observados, trascendiendo la simple identificación de patrones o regularidades en los datos.

Desde esta perspectiva, el análisis de la producción agrícola en la región Ica no se limita a registrar niveles de producción o a identificar tendencias temporales, sino que busca explicar por qué dichos niveles se configuran de determinada manera. Esta orientación implica reconocer que los

fenómenos económicos no son aleatorios ni independientes, sino que responden a estructuras subyacentes en las que interactúan factores productivos, estructurales y ambientales.

En el ámbito de la investigación econométrica, esta transición de la descripción a la explicación se materializa mediante la construcción de modelos que permiten representar formalmente la realidad. El modelo econométrico no es concebido como una herramienta meramente técnica, sino como una aproximación analítica que busca capturar las relaciones fundamentales entre las variables que componen el sistema productivo.

En el caso de la presente investigación, la explicación científica se articula a través de la especificación de un modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), el cual permite analizar la relación entre la producción agrícola y sus principales determinantes, incorporando tanto efectos contemporáneos como dinámicos. Esta característica resulta fundamental, dado que los sistemas productivos agrícolas presentan una fuerte dependencia temporal, en la que los resultados actuales están condicionados por su trayectoria pasada.

Asimismo, la inclusión de variables como el área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación responde a la necesidad de evitar interpretaciones reduccionistas, reconociendo que la producción agrícola es el resultado de la interacción entre múltiples factores. Este enfoque permite aproximarse a una explicación más completa del fenómeno, en la que se integran dimensiones estructurales, productivas y ambientales.

Desde el punto de vista epistemológico, la explicación científica implica diferenciar entre correlación y causalidad. La existencia de relaciones estadísticas entre variables no es suficiente para afirmar la existencia de un vínculo causal. Por ello, la investigación adopta una especificación econométrica que incorpora variables relevantes, evalúa supuestos y analiza la significancia de los coeficientes, con el fin de aproximarse a relaciones causales más robustas.

En este contexto, la econometría cumple un rol central como herramienta de explicación, al permitir aislar efectos, controlar la influencia de variables externas y evaluar la consistencia de los resultados. Sin embargo, es importante reconocer que los modelos econométricos constituyen representaciones simplificadas de la realidad, por lo que sus resultados deben ser interpretados con cautela y en coherencia con el marco teórico.

Otro aspecto relevante de la explicación científica es su carácter dinámico. A diferencia de enfoques estáticos, la presente investigación reconoce que los efectos de las variables no se manifiestan de manera inmediata, sino que pueden desarrollarse progresivamente en el tiempo. La incorporación de rezagos en el modelo permite capturar estos procesos de ajuste, proporcionando una visión más realista del funcionamiento del sistema productivo.

Asimismo, la explicación científica no se limita a la validación estadística de los resultados, sino que requiere su interpretación económica. Los coeficientes estimados adquieren significado en la medida en que pueden ser interpretados en términos de relaciones económicas, permitiendo comprender la magnitud y dirección de los efectos.

Finalmente, la presente investigación asume que la explicación científica es un proceso que integra teoría, método y evidencia. No se trata únicamente de aplicar técnicas, sino de construir una narrativa coherente que permita comprender la realidad en su complejidad. En este sentido, el modelo econométrico se convierte en un instrumento que articula estos elementos, permitiendo transformar datos en conocimiento y conocimiento en herramientas para la toma de decisiones.

En consecuencia, el análisis de la producción agrícola en la región Ica se configura como un ejercicio de explicación científica orientado a identificar los mecanismos que determinan su comportamiento, contribuyendo a una comprensión más profunda, rigurosa y útil del sistema productivo.

### **2.1.5 Complejidad y no linealidad en los sistemas productivos**

El análisis de la producción agrícola exige reconocer que los sistemas productivos no responden a una lógica lineal ni a relaciones simples entre variables, sino que se caracterizan por su naturaleza compleja y dinámica. En este sentido, la producción agrícola debe entenderse como el resultado de un sistema en el que múltiples factores interactúan de manera simultánea, generando efectos que no siempre son proporcionales ni inmediatos.

Desde una perspectiva conceptual, la complejidad implica que los resultados productivos no pueden explicarse a partir de un único factor dominante, sino que emergen de la interacción entre dimensiones estructurales, productivas y ambientales. Variables como el área cultivada, la productividad agrícola y las condiciones climáticas actúan de manera conjunta, configurando un sistema en el que los efectos dependen del contexto y de la articulación entre sus componentes.

En el caso de la región Ica, esta complejidad se manifiesta en la forma en que los factores productivos se combinan para generar resultados diferenciados a lo largo del tiempo. Un mismo nivel de área cultivada o de productividad puede traducirse en distintos niveles de producción dependiendo de las condiciones en las que se desarrolla la actividad agrícola. Esto evidencia que los factores no operan de manera independiente, sino dentro de una estructura que condiciona su efecto.

Asimismo, la dinámica del sistema productivo introduce una dimensión temporal que resulta fundamental para su comprensión. La producción agrícola no es un fenómeno estático, sino un proceso que evoluciona en el tiempo, donde los resultados actuales están influenciados por decisiones y condiciones del pasado. Esta característica se refleja en la presencia de persistencia temporal, la cual implica que el comportamiento de la producción depende, en parte, de su propia trayectoria histórica.

Desde el punto de vista econométrico, esta dinámica se incorpora mediante la inclusión de rezagos en el modelo, permitiendo capturar los procesos de ajuste que se desarrollan de manera

progresiva. De este modo, el análisis no se limita a evaluar efectos contemporáneos, sino que considera cómo las variables influyen en la producción a lo largo del tiempo, ofreciendo una visión más realista del sistema productivo.

Por otro lado, la complejidad del sistema agrícola también se expresa en la posibilidad de que las relaciones entre variables no sean estrictamente proporcionales. Si bien el modelo adoptado se basa en una especificación funcional que permite interpretar relaciones de tipo elástico, ello no implica asumir una linealidad absoluta en el comportamiento del sistema. Por el contrario, se reconoce que los efectos pueden variar en función del nivel de las variables y del contexto en el que operan.

Esta comprensión evita interpretaciones simplistas y permite reconocer que el crecimiento de la producción no responde a incrementos aislados de los factores, sino a la forma en que estos se integran dentro del sistema. En este sentido, la eficiencia productiva adquiere un rol central, al reflejar la capacidad del sistema para transformar los recursos disponibles en resultados productivos.

Asimismo, la interacción entre factores introduce la posibilidad de efectos indirectos y condicionados, donde el impacto de una variable puede depender de la presencia o nivel de otras. Este comportamiento refuerza la idea de que el sistema productivo agrícola debe analizarse desde una perspectiva integral, en la que los factores no se evalúan de manera aislada, sino en función de su contribución al conjunto.

Finalmente, el reconocimiento de la complejidad y dinámica del sistema productivo agrícola tiene implicancias directas en la interpretación de los resultados. Los coeficientes estimados en el modelo econométrico deben entenderse como aproximaciones que capturan tendencias generales, pero que no agotan la totalidad del fenómeno. Esta visión permite mantener una postura analítica rigurosa, evitando conclusiones deterministas y reconociendo la naturaleza cambiante del sistema.

En consecuencia, el análisis de la producción agrícola en la región Ica se configura como un ejercicio que requiere integrar múltiples dimensiones, considerar la evolución temporal de las variables y reconocer la interacción entre los factores productivos. Este enfoque no solo fortalece la consistencia del estudio, sino que también permite avanzar hacia una comprensión más profunda y realista del funcionamiento del sistema agrícola.

#### **2.1.6 Implicancias filosóficas: eficiencia, sostenibilidad y racionalidad económica**

El análisis de la producción agrícola desde una perspectiva filosófica trasciende el ámbito descriptivo para situarse en el terreno de la acción y la toma de decisiones. Comprender cómo se generan los resultados productivos no solo permite explicar la realidad, sino también intervenir en ella de manera más eficiente. En este sentido, el conocimiento científico adquiere un carácter aplicado, en la medida en que orienta el uso de los recursos y contribuye a mejorar el desempeño del sistema productivo.

En contextos donde los recursos son limitados, como ocurre en gran parte de las zonas agrícolas de la región Ica, la eficiencia deja de ser una opción y se convierte en una condición necesaria para la sostenibilidad del sistema. La racionalidad económica, entendida como la capacidad de asignar recursos de manera óptima, no puede basarse únicamente en criterios de maximización inmediata, sino que debe incorporar una visión de largo plazo orientada a la sostenibilidad.

Desde esta perspectiva, la producción agrícola no debe evaluarse exclusivamente en términos de volumen producido, sino también en función de la eficiencia con la que se utilizan los recursos disponibles. Factores como el área cultivada y la productividad agrícola reflejan no solo la capacidad productiva del sistema, sino también su nivel de organización, tecnificación y gestión.

Asimismo, las condiciones climáticas introducen una dimensión adicional en el análisis, al evidenciar que el desempeño productivo está condicionado por factores externos que no pueden ser controlados completamente. Esto implica que la racionalidad económica debe considerar no

solo los recursos disponibles, sino también las restricciones del entorno, promoviendo estrategias adaptativas que permitan mantener la estabilidad del sistema.

En este sentido, la sostenibilidad se configura como un principio fundamental del análisis productivo. No se trata únicamente de producir más, sino de garantizar que la producción pueda mantenerse en el tiempo sin comprometer la disponibilidad futura de los recursos. Este enfoque implica reconocer que el crecimiento productivo debe estar acompañado de una gestión responsable y equilibrada de los factores que lo hacen posible.

Desde el punto de vista econométrico, los resultados del modelo permiten identificar qué factores tienen mayor incidencia en la producción agrícola, lo que aporta información valiosa para la toma de decisiones. Sin embargo, la interpretación de estos resultados no debe limitarse a su significancia estadística, sino que debe incorporar una reflexión sobre sus implicancias en términos de eficiencia y sostenibilidad.

Por otro lado, la racionalidad económica adoptada en la presente investigación se aleja de enfoques simplistas centrados en la maximización de un solo factor. En su lugar, se plantea una visión integradora, en la que el desempeño del sistema productivo depende de la adecuada articulación entre factores estructurales, productivos y ambientales. Esta perspectiva permite comprender que el desarrollo agrícola no es el resultado de la acumulación de recursos, sino de su uso eficiente y coordinado.

Asimismo, la incorporación de una perspectiva dinámica refuerza la idea de que las decisiones productivas tienen efectos que se extienden en el tiempo. La persistencia observada en la producción agrícola sugiere que las condiciones actuales están influenciadas por decisiones pasadas, lo que implica que la planificación debe considerar tanto el presente como el futuro.

En un plano más amplio, las implicancias filosóficas de la investigación invitan a replantear el concepto de desarrollo económico en el ámbito agrícola. Este no puede ser entendido únicamente

como un incremento en los niveles de producción, sino como la capacidad de gestionar los recursos de manera eficiente, sostenible y adaptativa. En este sentido, el desarrollo se vincula con la calidad de las decisiones y con la capacidad de anticipar los efectos de las acciones en el largo plazo.

Finalmente, la presente investigación reafirma que el conocimiento científico no tiene valor únicamente en el plano teórico, sino en su capacidad para contribuir a la mejora de la realidad. El análisis de la producción agrícola en la región Ica no solo permite comprender el funcionamiento del sistema productivo, sino también ofrecer una base sólida para la formulación de estrategias orientadas a optimizar el uso de los recursos, fortalecer la sostenibilidad y mejorar la eficiencia del sector agrícola.

#### **2.1.7 La econometría como racionalidad científica aplicada**

La econometría, en el marco de la presente investigación, trasciende su carácter instrumental para constituirse en una forma de racionalidad científica aplicada, mediante la cual es posible representar, analizar y explicar la realidad económica de manera rigurosa. No se limita a ser un conjunto de técnicas estadísticas orientadas al tratamiento de datos, sino que se configura como un lenguaje formal que permite articular la teoría económica con la evidencia empírica.

Desde esta perspectiva, la econometría cumple una función integradora, al conectar los planteamientos teóricos sobre la producción agrícola con la información observada en la realidad. A través de la modelación econométrica, los conceptos abstractos —como la relación entre factores estructurales, productivos y climáticos— se traducen en expresiones cuantificables que pueden ser estimadas, evaluadas y contrastadas.

En el contexto de la presente investigación, la econometría permite transformar un conjunto de datos dispersos en una estructura analítica coherente, en la que las relaciones entre variables pueden ser identificadas y cuantificadas. Este proceso implica una transformación fundamental: los datos dejan de ser simples registros para convertirse en evidencia científica, susceptible de interpretación y validación.

El modelo econométrico adoptado, basado en un enfoque autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), constituye una herramienta que permite capturar la dinámica del sistema productivo agrícola. A diferencia de enfoques estáticos, este modelo incorpora la dimensión temporal, reconociendo que la producción agrícola presenta persistencia y que sus determinantes ejercen efectos tanto contemporáneos como rezagados.

Asimismo, la econometría permite abordar uno de los principales desafíos del análisis económico: la identificación de relaciones causales. En sistemas complejos como el agrícola, donde múltiples factores interactúan simultáneamente, resulta insuficiente observar simples asociaciones estadísticas. Es necesario construir modelos que permitan aislar efectos, controlar la influencia de variables externas y evaluar la significancia de los resultados.

En este sentido, la econometría introduce un criterio fundamental en la construcción del conocimiento científico: la verificabilidad. Las hipótesis planteadas deben ser sometidas a contrastación empírica, lo que implica que los resultados obtenidos puedan ser evaluados en términos de su significancia estadística y coherencia teórica. Este principio garantiza que las conclusiones del estudio no respondan a percepciones subjetivas, sino a evidencia verificable.

Otro elemento central es la replicabilidad, entendida como la posibilidad de que los resultados puedan ser reproducidos bajo las mismas condiciones metodológicas. El uso de datos provenientes de fuentes oficiales y la aplicación de procedimientos econométricos estandarizados permiten que la investigación se inserte dentro de una lógica científica acumulativa, donde el conocimiento puede ser validado, cuestionado o ampliado por otros investigadores.

Por otro lado, la econometría no solo cumple una función explicativa, sino también una función aplicada. Los resultados del modelo proporcionan información relevante para la toma de decisiones, permitiendo identificar los factores que inciden en la producción agrícola y evaluar su magnitud. En este sentido, el conocimiento generado no se limita al ámbito académico, sino que tiene implicancias directas en la formulación de políticas y estrategias productivas.

No obstante, es importante reconocer que los modelos econométricos constituyen aproximaciones a la realidad y no representaciones exactas de la misma. Su validez depende de la calidad de los datos, la adecuada especificación del modelo y la correcta interpretación de los resultados. Este reconocimiento introduce una dimensión crítica en el uso de la econometría, evitando interpretaciones deterministas o absolutas.

Finalmente, concebir la econometría como una forma de racionalidad científica implica asumir que el conocimiento económico no se construye únicamente a partir de la aplicación de técnicas, sino de la integración coherente entre teoría, método y evidencia. En este sentido, la econometría se convierte en el eje que articula estos elementos, permitiendo avanzar hacia una comprensión más rigurosa, objetiva y útil de la producción agrícola en la región Ica.

En consecuencia, la presente investigación utiliza la econometría no solo como herramienta de análisis, sino como un marco conceptual que orienta la construcción del conocimiento, contribuyendo a explicar la dinámica del sistema productivo agrícola y a generar evidencia que sustente la toma de decisiones en contextos reales.

# Capítulo III

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

## CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### 3.1. Antecedentes de la investigación

El análisis de la producción y productividad agrícola ha experimentado una evolución significativa en las últimas décadas, pasando de enfoques descriptivos hacia aproximaciones cuantitativas sustentadas en el uso de modelos econométricos. Este avance ha permitido comprender que el desempeño agrícola no responde a relaciones simples, sino a la interacción de múltiples factores estructurales, productivos y climáticos que configuran un sistema complejo y dinámico.

En el ámbito internacional, diversos estudios han demostrado la relevancia de los factores climáticos en la determinación de la productividad agrícola. Por ejemplo, Ortiz-Bobea et al. (2021) evidencian que el cambio climático ha generado efectos negativos sobre la productividad agrícola global, reduciendo su crecimiento en el largo plazo. Este hallazgo resulta relevante, ya que demuestra que las condiciones climáticas constituyen un componente estructural del sistema productivo agrícola.

De manera complementaria, Chen et al. (2020) analizan el impacto de variables climáticas en economías en desarrollo, encontrando que factores como la precipitación influyen significativamente en los rendimientos agrícolas. Sus resultados destacan que la variabilidad climática introduce incertidumbre en el proceso productivo, lo que refuerza la necesidad de incorporar estas variables dentro del análisis econométrico.

Asimismo, Diffenbaugh y Burke (2019) señalan que las variaciones climáticas han afectado el desempeño económico global, particularmente en sectores dependientes de condiciones naturales como la agricultura. Este enfoque permite entender que la producción agrícola no es únicamente el resultado de decisiones económicas, sino también de condiciones estructurales del entorno.

En el contexto latinoamericano, Aragón y Rud (2021) evidencian que la productividad agrícola depende de la interacción entre factores estructurales y ambientales, destacando la existencia de

comportamientos no lineales en el sistema productivo. Este resultado refuerza la necesidad de analizar la producción agrícola desde una perspectiva integral.

Por su parte, Ray et al. (2019) encuentran que las condiciones climáticas explican una proporción significativa de la variabilidad en los rendimientos agrícolas a nivel global, lo que confirma la importancia de integrar variables ambientales dentro de los modelos de análisis productivo.

A nivel nacional, el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2022) señala que la producción agrícola en el Perú depende de factores como el área cultivada, el acceso al agua y la eficiencia productiva, evidenciando la relevancia de los factores estructurales dentro del sistema agrícola.

Finalmente, la FAO (2021) destaca que la producción agrícola es el resultado de la interacción entre factores productivos y condiciones ambientales, subrayando la necesidad de adoptar enfoques integrados para comprender la dinámica del sistema agrícola.

En conjunto, los antecedentes revisados permiten identificar un consenso en la literatura: la producción agrícola no puede ser explicada a partir de variables aisladas, sino como el resultado de un sistema interdependiente en el que interactúan factores estructurales, productivos y climáticos. En este contexto, el uso de modelos econométricos dinámicos, como el modelo ARDL, resulta pertinente para capturar la complejidad del sistema productivo y analizar su evolución en el tiempo.

## **3.2 Base teórica**

### **3.2.1 Teoría de la productividad**

La productividad constituye uno de los conceptos fundamentales en el análisis económico, en la medida en que permite evaluar la eficiencia con la que los sistemas productivos transforman insumos en bienes o servicios. Tradicionalmente, este concepto ha sido definido como la relación entre el volumen de producción obtenida y la cantidad de factores utilizados; sin embargo, en el

enfoque contemporáneo, la productividad ha evolucionado hacia una visión más amplia que incorpora dimensiones estructurales, tecnológicas y ambientales (Creswell & Creswell, 2018).

En el ámbito agrícola, esta ampliación conceptual resulta especialmente relevante, debido a que la producción depende no solo de factores controlables como el área cultivada o la tecnología, sino también de condiciones externas como el clima. En este sentido, la productividad agrícola debe entenderse como un fenómeno multidimensional, en el que intervienen tanto decisiones económicas como restricciones del entorno (Ortiz-Bobea et al., 2021).

Asimismo, la productividad presenta un carácter dinámico, en la medida en que los resultados actuales están influenciados por condiciones pasadas. Este comportamiento implica que el análisis productivo no puede limitarse a una visión estática, sino que debe incorporar la evolución temporal de las variables, lo que justifica el uso de modelos econométricos dinámicos como el modelo ARDL (Wooldridge, 2020).

Por otro lado, la productividad se encuentra estrechamente vinculada con la noción de eficiencia. En este contexto, no basta con incrementar la cantidad de insumos utilizados, sino que es necesario optimizar su combinación para maximizar los resultados. Esta perspectiva permite comprender que el desempeño productivo no depende únicamente de la disponibilidad de recursos, sino de la forma en que estos son gestionados dentro del sistema agrícola.

### **3.2.2 Teoría de la producción agrícola**

La teoría de la producción agrícola se fundamenta en la función de producción, la cual describe la relación técnica entre los factores productivos y el nivel de output obtenido. En su formulación clásica, esta función integra insumos como tierra, trabajo, capital y tecnología; sin embargo, en el sector agrícola esta relación presenta particularidades debido a la fuerte dependencia de condiciones naturales (Varian, 2014).

A diferencia de otros sectores productivos, la agricultura se desarrolla en un entorno abierto, expuesto a la variabilidad climática. Esta característica introduce un componente de incertidumbre que afecta tanto el nivel como la estabilidad de la producción. En este sentido, variables como la precipitación dejan de ser factores secundarios para convertirse en determinantes relevantes del proceso productivo (Chen et al., 2020).

Asimismo, la teoría reconoce la existencia de rendimientos marginales decrecientes, lo que implica que el incremento en un factor productivo genera aumentos cada vez menores en la producción. Este principio resulta clave para comprender que el crecimiento productivo no puede sostenerse únicamente mediante la expansión de insumos, sino que requiere mejoras en eficiencia y gestión. En el enfoque contemporáneo, la teoría de la producción agrícola también incorpora el concepto de sostenibilidad, reconociendo que el uso intensivo de los recursos puede comprometer la viabilidad futura del sistema productivo (FAO, 2021). En este sentido, la producción agrícola debe ser analizada no solo en términos de crecimiento, sino también de equilibrio entre productividad y conservación de recursos.

### **3.2.3 Determinantes estructurales y climáticos de la producción agrícola**

La producción agrícola es el resultado de la interacción entre factores estructurales, productivos y climáticos. Entre los principales determinantes se encuentran el área cultivada, la productividad agrícola y las condiciones climáticas representadas por la precipitación.

El área cultivada constituye un factor estructural que define la capacidad productiva del sistema, mientras que la productividad agrícola refleja la eficiencia con la que se utilizan los recursos. Por su parte, la precipitación actúa como un factor condicionante que influye directamente en el desarrollo de los cultivos (Ray et al., 2019).

Diversos estudios han demostrado que estos factores no actúan de manera independiente, sino que interactúan dentro de un sistema dinámico en el que los efectos pueden variar en función del

contexto (Chen et al., 2020). Esta interacción introduce complejidad en el análisis, lo que requiere el uso de herramientas econométricas que permitan capturar dichas relaciones.

#### **3.2.4 Restricciones productivas y eficiencia en el uso de recursos**

La producción agrícola se desarrolla bajo condiciones de restricción, donde la disponibilidad de recursos condiciona el desempeño del sistema productivo. En particular, el acceso al agua constituye uno de los principales factores limitantes en regiones como Ica, donde la escasez hídrica afecta el aprovechamiento de otros recursos productivos.

Desde una perspectiva económica, esta situación implica que la producción no depende únicamente de la cantidad de insumos, sino de la eficiencia con la que estos son utilizados. En este sentido, la optimización del uso de recursos se convierte en un elemento clave para mejorar el desempeño productivo (MIDAGRI, 2022).

Asimismo, la literatura reciente ha señalado que la gestión eficiente de los recursos es fundamental para garantizar la sostenibilidad del sistema agrícola, evitando la sobreexplotación y promoviendo un uso equilibrado de los factores productivos (FAO, 2021).

#### **3.2.5 Enfoque econométrico en el análisis de la producción agrícola**

El enfoque econométrico permite formalizar la relación entre la producción agrícola y sus determinantes, facilitando la estimación de modelos que integran teoría y evidencia empírica. A través de este enfoque, es posible cuantificar el impacto de las variables explicativas y evaluar su significancia estadística.

En la presente investigación, se adopta el modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), el cual permite analizar relaciones dinámicas entre variables y distinguir entre efectos de corto y largo plazo. Este modelo resulta adecuado en contextos donde las variables presentan diferentes órdenes de integración y donde el tamaño de la muestra es relativamente reducido (Wooldridge, 2020).

Asimismo, la econometría permite evaluar la consistencia del modelo mediante pruebas de diagnóstico, garantizando la validez de los resultados. En este sentido, el enfoque econométrico no solo contribuye a la explicación del fenómeno productivo, sino que también proporciona una base sólida para la toma de decisiones.

### *3.3. Marco Conceptual*

El marco conceptual constituye un componente fundamental dentro de la investigación científica, en la medida en que permite delimitar, precisar y operacionalizar los conceptos clave utilizados en el estudio. Su finalidad es establecer una base teórica coherente que articule el enfoque conceptual con la formulación del modelo econométrico y la interpretación de los resultados empíricos, garantizando consistencia interna y rigor analítico (Hernández-Sampieri, Fernández & Baptista, 2023).

En el contexto de la presente investigación, orientada a analizar los determinantes de la producción agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025, el marco conceptual se estructura en torno a las variables fundamentales del modelo: producción agrícola, área cultivada, productividad agrícola y precipitación. Estos conceptos permiten comprender el sistema productivo agrícola como una estructura interdependiente en la que convergen factores estructurales, productivos y climáticos.

La producción agrícola se define como el resultado agregado de la actividad agrícola en un periodo determinado, generalmente expresado en términos físicos (toneladas). Este concepto representa la variable dependiente del modelo y refleja el nivel de desempeño del sistema productivo. Desde una perspectiva económica, la producción agrícola constituye la manifestación observable de la interacción entre diversos factores, incluyendo la disponibilidad de recursos, la eficiencia en su utilización y las condiciones del entorno (FAO, 2021).

El área cultivada se conceptualiza como la superficie total destinada a la producción agrícola, medida en hectáreas, y constituye un factor estructural clave en la determinación del nivel de

producción. Este concepto representa la capacidad productiva del sistema, en la medida en que define el espacio físico sobre el cual se desarrolla la actividad agrícola. No obstante, su efecto sobre la producción no es ilimitado, dado que está sujeto al principio de rendimientos decrecientes, lo cual implica que incrementos sucesivos en la superficie cultivada generan aumentos cada vez menores en el nivel de producción (Varian, 2014).

La productividad agrícola se entiende como la relación entre la producción obtenida y la cantidad de insumos utilizados, particularmente la superficie cultivada, expresándose comúnmente en términos de rendimiento por hectárea. Este concepto refleja la eficiencia del sistema productivo, en la medida en que captura la capacidad de transformar recursos en resultados. En el enfoque contemporáneo, la productividad no solo depende de factores técnicos, sino también de la gestión, la innovación y la adopción tecnológica, constituyéndose en el principal motor del crecimiento agrícola sostenible (Fuglie, 2015).

La precipitación se define como la cantidad de agua proveniente de fenómenos meteorológicos, medida en milímetros, y representa una de las principales variables climáticas que influyen en el desarrollo de la actividad agrícola. A diferencia de los factores estructurales y productivos, la precipitación constituye una variable exógena, cuyo comportamiento no depende de las decisiones económicas. Su efecto sobre la producción agrícola puede ser positivo o negativo, dependiendo de su intensidad, distribución temporal y capacidad de ser gestionada mediante sistemas de riego (Ray et al., 2019).

El modelo econométrico se conceptualiza como una representación matemática de las relaciones económicas entre variables, estimada a partir de datos observacionales. En la presente investigación, el modelo econométrico permite analizar la influencia del área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación sobre la producción agrícola, incorporando una dimensión dinámica mediante el uso del modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL). Este enfoque permite capturar tanto efectos de corto como de largo plazo, así como la persistencia temporal del sistema productivo (Pesaran, Shin & Smith, 2001).

La persistencia temporal se refiere a la dependencia que presenta una variable respecto a sus valores pasados, característica común en series de tiempo económicas. En el caso de la producción agrícola, esta propiedad implica que el comportamiento actual está influenciado por su trayectoria histórica, lo que refleja la naturaleza acumulativa del sistema productivo. Este concepto es fundamental para comprender la dinámica agrícola y justifica la inclusión de rezagos en la especificación econométrica (Hamilton, 1994).

La significancia estadística constituye el criterio mediante el cual se evalúa la validez de los resultados obtenidos en el modelo econométrico, permitiendo determinar si los efectos estimados son consistentes y no atribuibles al azar. Este concepto se operacionaliza a través del valor  $p$ , el cual permite contrastar las hipótesis planteadas y establecer la relevancia de las variables dentro del modelo (Wooldridge, 2020).

Los coeficientes econométricos, en el contexto de un modelo logarítmico, pueden interpretarse como elasticidades, es decir, como la variación porcentual de la producción agrícola ante un cambio porcentual en las variables explicativas. Esta interpretación facilita el análisis económico de los resultados, permitiendo evaluar la sensibilidad del sistema productivo frente a cambios en sus determinantes.

Finalmente, el principio de rendimientos decrecientes establece que el incremento en un factor productivo, manteniendo constantes los demás, genera aumentos cada vez menores en el nivel de producción. Este concepto resulta fundamental para comprender las limitaciones del crecimiento basado en la expansión de recursos, reforzando la importancia de la productividad como factor clave en el desarrollo agrícola (Varian, 2014).

En conjunto, los conceptos definidos permiten estructurar el análisis de la investigación bajo un enfoque coherente e integrado, en el cual la producción agrícola es entendida como el resultado de un sistema dinámico en el que interactúan factores estructurales, productivos y climáticos. Este marco conceptual no solo proporciona claridad en la definición de las variables, sino que también

garantiza la consistencia entre la teoría, el modelo econométrico y la interpretación de los resultados, contribuyendo a una comprensión rigurosa y científica del fenómeno estudiado.

# Capítulo IV

## MODELACIÓN ECONOMETRICA DE LA PRODUCCIÓN AGRARIA

## CAPÍTULO IV: MODELACIÓN ECONÓMETRICA DE LA PRODUCCIÓN AGRARIA

### 4.1 Enfoque general del modelo

La presente investigación adopta un enfoque econométrico basado en series de tiempo con el propósito de explicar de manera rigurosa y sistemática la dinámica de la producción agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025. Este enfoque responde a la necesidad de superar las limitaciones inherentes a los análisis descriptivos tradicionales, los cuales, si bien permiten una aproximación inicial al fenómeno, resultan insuficientes para capturar la complejidad de las relaciones estructurales que caracterizan a los sistemas productivos agrícolas (Gujarati & Porter, 2009).

En este contexto, el modelo econométrico se fundamenta en la premisa de que la producción agrícola no es el resultado de un único factor, sino de la interacción simultánea de elementos estructurales, productivos y climáticos que operan de manera interdependiente. En particular, se consideran como determinantes principales el área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación, variables que reflejan, respectivamente, la capacidad productiva del sistema, su nivel de eficiencia y las condiciones ambientales que condicionan su desempeño. Esta formulación resulta consistente con la teoría de la producción y los enfoques modernos de crecimiento económico, en los cuales la productividad desempeña un rol central en la generación de valor (Romer, 1990).

Desde una perspectiva económica, esta aproximación reconoce que el sistema agrícola funciona como una estructura compleja en la que los factores no actúan de manera aislada, sino dentro de un entorno dinámico donde sus efectos pueden reforzarse o atenuarse mutuamente. En este sentido, la producción agrícola debe ser interpretada como el resultado de un proceso acumulativo y adaptativo, en el cual las decisiones productivas, la asignación de recursos y las condiciones ambientales interactúan de manera continua a lo largo del tiempo, en línea con enfoques de sistemas productivos agrícolas (Hayami & Ruttan, 1985).

Asimismo, la elección de un enfoque de series de tiempo permite incorporar explícitamente la dimensión temporal en el análisis, reconociendo que la producción agrícola presenta persistencia y dependencia respecto a sus valores pasados. Este comportamiento dinámico implica que los niveles actuales de producción no solo responden a condiciones contemporáneas, sino también a trayectorias productivas previamente establecidas, reflejando procesos económicos con memoria y ajustes graduales (Wooldridge, 2013).

En este sentido, la modelación econométrica no se limita a identificar relaciones contemporáneas entre variables, sino que busca capturar la evolución del sistema productivo en el tiempo, permitiendo diferenciar entre efectos de corto plazo y relaciones estructurales de largo plazo. Esta distinción resulta fundamental en el análisis agrícola, donde los impactos de las variables explicativas pueden manifestarse de manera diferida debido a los ciclos productivos y a las condiciones propias del sector (Pesaran et al., 2001).

Desde el punto de vista metodológico, la econometría cumple un rol central al permitir formalizar las relaciones entre variables mediante modelos matemáticos estimados a partir de datos observacionales. Esta herramienta no solo facilita la cuantificación de los efectos de las variables explicativas, sino que también permite evaluar su significancia estadística, su magnitud relativa y su coherencia con los fundamentos teóricos de la producción agrícola. En este sentido, la econometría actúa como un puente entre la teoría económica y la evidencia empírica, contribuyendo a la generación de conocimiento científico verificable (Gujarati & Porter, 2009).

Adicionalmente, el enfoque adoptado permite abordar uno de los principales desafíos en el análisis de series de tiempo: la identificación de relaciones no espurias. En presencia de tendencias o patrones comunes, es posible encontrar correlaciones que no reflejan relaciones económicas reales. Por ello, la presente investigación incorpora técnicas econométricas adecuadas para garantizar la validez de las estimaciones y la consistencia de las inferencias, evitando interpretaciones erróneas derivadas de relaciones espurias (Wooldridge, 2013).

En este marco, se emplea el modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), el cual permite capturar la dinámica del sistema productivo mediante la incorporación de rezagos de la variable dependiente y de las variables explicativas. Este modelo resulta particularmente adecuado para el análisis de la producción agrícola, dado que permite representar tanto la persistencia temporal como los efectos diferidos de los factores estructurales, productivos y climáticos, así como analizar relaciones de cointegración en presencia de variables con distintos órdenes de integración (Pesaran et al., 2001).

Finalmente, el enfoque general del modelo se sustenta en una perspectiva integradora que combina teoría económica, evidencia empírica y herramientas econométricas avanzadas, con el objetivo de proporcionar una explicación robusta y consistente de los determinantes de la producción agrícola en la región Ica. De esta manera, la investigación no solo contribuye al desarrollo académico, sino que también ofrece insumos relevantes para la toma de decisiones orientadas a mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema productivo agrícola.

#### **4.2 Especificación teórica y forma funcional del modelo**

La especificación teórica y la forma funcional del modelo constituyen una etapa crítica dentro del proceso de modelación econométrica, en la medida en que definen la estructura analítica mediante la cual se representan las relaciones entre las variables, condicionando tanto la validez estadística de las estimaciones como la interpretación económica de los resultados.

En el marco de la presente investigación, la producción agrícola es concebida como el resultado de la interacción de factores estructurales, productivos y climáticos. En particular, se consideran como variables explicativas el área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación, las cuales reflejan, respectivamente, la capacidad productiva del sistema, su nivel de eficiencia y las condiciones ambientales que influyen en su desempeño.

Desde una perspectiva teórica, esta formulación se encuentra alineada con la función de producción de tipo Cobb-Douglas, en la cual el nivel de output depende de la combinación de

factores productivos. No obstante, el enfoque adoptado en la investigación trasciende una visión estática, al incorporar una dimensión dinámica que reconoce que el sistema agrícola evoluciona en el tiempo y presenta procesos de ajuste intertemporal.

En este contexto, se adopta una forma funcional de tipo logarítmico, la cual permite representar de manera adecuada las relaciones económicas entre las variables, especialmente cuando los efectos son proporcionales en términos relativos y no lineales en términos absolutos. Formalmente, la especificación básica del modelo se expresa de la siguiente manera:

$$\ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 \ln A_t + \beta_2 \ln P_t + \beta_3 \ln C_t + \varepsilon_t$$

donde:

- $Y_t$ : producción agrícola
- $A_t$ : área cultivada
- $P_t$ : productividad agrícola
- $C_t$ : precipitación
- $\varepsilon_t$ : término de error

La transformación logarítmica introduce ventajas sustantivas tanto desde el punto de vista econométrico como económico. En primer lugar, permite interpretar los coeficientes como elasticidades, es decir, como la variación porcentual de la producción ante cambios porcentuales en las variables explicativas. Esta característica facilita la evaluación de la importancia relativa de cada factor dentro del sistema productivo.

En segundo lugar, la especificación logarítmica contribuye a estabilizar la varianza de las series, reduciendo potenciales problemas de heterocedasticidad y mejorando las propiedades estadísticas de los estimadores. Asimismo, permite reducir la dispersión de las variables, favoreciendo una mejor estimación en contextos donde las magnitudes presentan escalas heterogéneas.

Desde una perspectiva económica, esta forma funcional implica asumir elasticidades constantes, lo cual constituye una simplificación razonable que permite capturar los elementos esenciales del

sistema productivo sin introducir una complejidad innecesaria en la estimación. No obstante, se reconoce que en la práctica pueden existir comportamientos no lineales o efectos de rendimientos decrecientes, los cuales son posteriormente capturados a través del enfoque dinámico del modelo.

En este sentido, la especificación funcional se amplía mediante la incorporación de una estructura dinámica basada en el modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), el cual permite integrar en un mismo marco analítico tanto las relaciones contemporáneas como los efectos rezagados de las variables. De manera general, el modelo ARDL puede expresarse como:

$$\ln Y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \ln Y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \beta_j \ln A_{t-j} + \sum_{k=0}^r \gamma_k \ln P_{t-k} + \sum_{l=0}^s \delta_l \ln C_{t-l} + \varepsilon_t$$

Esta especificación permite capturar:

- La persistencia temporal de la producción agrícola
- Los efectos dinámicos de las variables explicativas
- La diferenciación entre impactos de corto y largo plazo
- La interacción entre factores estructurales, productivos y climáticos

Asimismo, cuando se verifica la existencia de cointegración entre las variables, el modelo puede ser reexpresado en forma de corrección de errores (ECM), lo que permite analizar la velocidad de ajuste del sistema hacia su equilibrio de largo plazo.

Desde una perspectiva metodológica, la integración de la forma logarítmica con el modelo ARDL permite representar la producción agrícola como un sistema dinámico, interdependiente y con memoria, en el cual los efectos de las variables no se limitan al periodo contemporáneo, sino que se extienden en el tiempo a través de procesos de ajuste gradual.

Finalmente, la especificación adoptada no solo responde a criterios de conveniencia estadística, sino que se encuentra plenamente alineada con los objetivos de la investigación, en la medida en que permite interpretar los resultados en términos económicos, evaluar la relevancia de los

factores productivos y comprender la dinámica de la producción agrícola en la región Ica. En este sentido, constituye una base sólida y coherente para la estimación econométrica y la posterior discusión de los resultados.

### **4.3 Definición econométrica de variables**

La definición econométrica de las variables constituye un elemento esencial dentro del proceso de modelación, en la medida en que permite establecer con precisión la naturaleza, medición y tratamiento estadístico de cada una de las variables incluidas en el análisis. Esta etapa garantiza la coherencia entre el marco teórico, la especificación funcional del modelo y la interpretación de los resultados, evitando ambigüedades conceptuales y posibles sesgos derivados de una inadecuada operacionalización.

En la presente investigación, la selección de las variables responde a criterios de relevancia teórica, consistencia empírica y disponibilidad de información, considerando además su pertinencia dentro de un enfoque dinámico de series de tiempo. Asimismo, se adopta una transformación logarítmica de las variables continuas, con el objetivo de mejorar las propiedades estadísticas del modelo y facilitar la interpretación de los coeficientes en términos de elasticidades.

#### **4.3.1 Variable dependiente**

##### **Producción agrícola (Y)**

La variable dependiente corresponde a la producción agrícola total en la región Ica durante el periodo 2000–2025, expresada en toneladas. Esta variable representa el resultado agregado del sistema productivo agrícola y constituye el eje central del análisis econométrico.

Desde una perspectiva económica, la producción agrícola sintetiza el desempeño del sistema productivo, integrando la interacción de factores estructurales, productivos y climáticos. Su comportamiento refleja tanto la capacidad instalada del sistema como su eficiencia en la utilización de los recursos.

En términos econométricos, esta variable se incorpora en forma logarítmica, lo que permite interpretar los coeficientes estimados como elasticidades y reducir problemas asociados a la heterocedasticidad.

- Tipo de variable: continua
- Unidad de medida: toneladas
- Transformación: logaritmo natural ( $\ln Y_t$ )
- Rol en el modelo: variable dependiente

#### 4.3.2 Variables explicativas

##### a) Área cultivada (A)

El área cultivada representa la superficie total destinada a la actividad agrícola, medida en hectáreas. Esta variable constituye un factor estructural fundamental, en la medida en que define la capacidad productiva del sistema al establecer el límite físico sobre el cual se desarrolla la producción.

Desde la teoría económica, se espera que el área cultivada tenga un efecto positivo sobre la producción, dado que una mayor extensión de superficie permite incrementar el volumen total de output, manteniendo constantes las demás variables.

En el modelo econométrico, esta variable se incorpora en forma logarítmica, lo que permite interpretar su coeficiente como la elasticidad de la producción respecto al área cultivada.

- Tipo de variable: continua
- Unidad de medida: hectáreas
- Transformación: logaritmo natural ( $\ln A_t$ )
- Signo esperado: positivo

## **b) Productividad agrícola (P)**

La productividad agrícola se define como el rendimiento obtenido por unidad de superficie, generalmente expresado en toneladas por hectárea. Esta variable refleja la eficiencia del sistema productivo, constituyéndose en un indicador clave del desempeño agrícola.

Desde una perspectiva económica, la productividad captura la capacidad de transformar los insumos en resultados, siendo un determinante central del crecimiento agrícola. Un incremento en la productividad implica un uso más eficiente de los recursos disponibles, lo que debería traducirse en mayores niveles de producción.

En el modelo, esta variable se incorpora en forma logarítmica, permitiendo interpretar su coeficiente como la elasticidad de la producción respecto a la eficiencia productiva.

- Tipo de variable: continua
- Unidad de medida: toneladas por hectárea
- Transformación: logaritmo natural ( $\ln P_t$ )
- Signo esperado: positivo

## **c) Precipitación (C)**

La precipitación se define como la cantidad de agua proveniente de fenómenos meteorológicos, medida en milímetros. Esta variable representa un factor climático relevante que influye en el desarrollo de los cultivos.

A diferencia de las variables estructurales y productivas, la precipitación constituye un factor exógeno, cuyo efecto sobre la producción puede variar dependiendo de su intensidad y distribución temporal. En niveles adecuados, favorece el crecimiento de los cultivos; sin embargo, en niveles extremos puede generar efectos adversos.

En el modelo econométrico, esta variable se incorpora en forma logarítmica, lo que permite analizar su impacto en términos relativos.

- Tipo de variable: continua
- Unidad de medida: milímetros
- Transformación: logaritmo natural ( $\ln C_t$ )
- Signo esperado: positivo, aunque potencialmente no lineal

#### 4.3.3 Término de error

El término de error ( $\varepsilon_t$ ) representa aquellos factores no observados que influyen en la producción agrícola y que no han sido incluidos explícitamente en el modelo. Este componente captura la variabilidad residual del sistema, incluyendo factores como condiciones específicas de cultivo, innovaciones tecnológicas no registradas o shocks externos.

Desde el punto de vista econométrico, se asume que el término de error cumple con los supuestos clásicos de media cero, varianza constante y ausencia de autocorrelación, condiciones necesarias para garantizar la consistencia y eficiencia de los estimadores.

#### 4.3.4 Consideraciones econométricas de las variables

La especificación de las variables responde a un enfoque que busca equilibrar rigor teórico y viabilidad empírica. En este sentido, la transformación logarítmica permite:

- Interpretar los coeficientes como elasticidades
- Reducir problemas de heterocedasticidad
- Mejorar la distribución de las variables
- Facilitar la estimación de modelos dinámicos

Asimismo, la selección de variables estructurales, productivas y climáticas permite capturar de manera integral los determinantes de la producción agrícola, evitando sesgos derivados de la omisión de variables relevantes.

Finalmente, la definición econométrica de las variables constituye la base sobre la cual se estructura el modelo ARDL, permitiendo analizar tanto la dinámica de corto plazo como las relaciones de equilibrio de largo plazo dentro del sistema productivo agrícola.

La matriz de correlación permite identificar la intensidad y dirección de las relaciones lineales entre las variables consideradas en el modelo. Se observa una alta correlación positiva entre la producción agrícola y el área cultivada, lo cual resulta consistente con la teoría económica, dado que la expansión de la superficie productiva incide directamente en el nivel de output.

Asimismo, la producción agrícola presenta una fuerte correlación con la productividad, lo que confirma el rol de la eficiencia como determinante del crecimiento agrícola. Por otro lado, la precipitación muestra una correlación negativa y de menor magnitud con las variables productivas, lo que sugiere que su influencia es limitada en el contexto de un sistema agrícola tecnificado.

Cabe destacar que la elevada correlación entre algunas variables explicativas podría indicar la presencia de multicolinealidad potencial, lo cual debe ser considerado en la interpretación de los resultados econométricos.

Tabla 2. Matriz de correlación entre las variables del modelo

Variable	ln_prod	ln_area	prod_agri	precip
ln_prod	1.000	0.985	0.942	-0.210
ln_area	0.985	1.000	0.910	-0.185
prod_agri	0.942	0.910	1.000	-0.250
precip	-0.210	-0.185	-0.250	1.000

#### **4.4 Signos esperados del modelo**

La determinación de los signos esperados de los coeficientes constituye una etapa fundamental en la construcción del modelo econométrico, en la medida en que permite establecer, a partir de los fundamentos teóricos, la dirección anticipada de la relación entre las variables explicativas y la variable dependiente. Este análisis no solo orienta la interpretación de los resultados empíricos, sino que también actúa como un criterio de validación económica del modelo, en tanto los signos estimados deben ser coherentes con la teoría de la producción y la evidencia empírica disponible.

En el contexto de la presente investigación, la producción agrícola es modelada como una función del área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación. En consecuencia, los signos esperados de los coeficientes reflejan la forma en que estos factores influyen sobre el nivel de producción, considerando tanto su naturaleza económica como las particularidades del sistema productivo agrícola en la región Ica.

##### **4.4.1 Área cultivada**

El área cultivada constituye un factor estructural fundamental en la función de producción agrícola, ya que determina la capacidad física del sistema productivo. Desde la teoría económica, la tierra es uno de los principales insumos en la actividad agrícola, por lo que un incremento en la superficie cultivada debería traducirse, *ceteris paribus*, en un aumento en el volumen de producción.

En este sentido, se espera que el coeficiente asociado al área cultivada sea positivo:

$$\beta_1 > 0$$

Este resultado es consistente con la lógica de la función de producción, donde la expansión de los factores productivos genera un incremento en el output. No obstante, la magnitud de este efecto puede verse condicionada por la eficiencia en el uso de los recursos y por la calidad de la tierra, aspectos que pueden moderar el impacto del área cultivada sobre la producción.

##### **4.4.2 Productividad agrícola**

La productividad agrícola representa la eficiencia del sistema productivo, en la medida en que refleja la cantidad de output generado por unidad de superficie. Desde una perspectiva económica,

esta variable constituye un determinante clave del crecimiento agrícola, ya que permite incrementar la producción sin necesidad de expandir los recursos físicos.

Por lo tanto, se espera que el coeficiente asociado a la productividad agrícola sea positivo:

$$\beta_2 > 0$$

Además, dado el carácter dinámico del sistema productivo, la productividad puede presentar efectos que se extienden en el tiempo, lo que justifica la inclusión de rezagos en el modelo ARDL. En este sentido, la productividad no solo influye en el nivel contemporáneo de producción, sino también en su evolución futura.

#### **4.4.3 Precipitación**

La precipitación constituye un factor climático relevante que influye directamente en el desarrollo de los cultivos. Sin embargo, a diferencia de las variables estructurales y productivas, su efecto sobre la producción agrícola no es necesariamente lineal ni uniforme.

En condiciones normales, un aumento en la precipitación puede favorecer el crecimiento de los cultivos, especialmente en contextos donde el acceso al agua es limitado. No obstante, niveles excesivos o insuficientes de precipitación pueden generar efectos negativos, afectando el rendimiento agrícola.

En este sentido, el signo esperado del coeficiente asociado a la precipitación puede presentar cierta ambigüedad:

$$\beta_3 \cong 0$$

Sin embargo, en el caso específico de la región Ica, caracterizada por un sistema agrícola tecnificado con uso intensivo de riego, se espera que la precipitación tenga un efecto positivo, aunque de menor magnitud en comparación con los factores estructurales y productivos.

#### 4.4.4 Consistencia económica del modelo

La coherencia entre los signos esperados y los signos estimados constituye un criterio esencial para evaluar la validez económica del modelo. Un modelo econométrico puede presentar coeficientes estadísticamente significativos; sin embargo, si estos no son consistentes con la teoría económica, su interpretación debe realizarse con cautela.

En este sentido, el análisis de los signos esperados permite complementar la evaluación estadística con un criterio económico, asegurando que los resultados no solo sean estadísticamente válidos, sino también económicamente interpretables.

#### 4.4.5 Interpretación en términos de elasticidades

Dado que el modelo se especifica en forma logarítmica, los coeficientes estimados pueden interpretarse como elasticidades. Esto implica que cada coeficiente representa la variación porcentual en la producción agrícola ante un cambio porcentual en la variable explicativa correspondiente.

En este marco:

- $\beta_1$ : elasticidad de la producción respecto al área cultivada
- $\beta_2$ : elasticidad respecto a la productividad agrícola
- $\beta_3$ : elasticidad respecto a la precipitación

Esta interpretación permite evaluar la importancia relativa de cada factor dentro del sistema productivo, facilitando la identificación de los determinantes más relevantes de la producción agrícola.

#### 4.4.6 Implicancias para el análisis empírico

El establecimiento de los signos esperados no solo cumple una función teórica, sino que también orienta el análisis empírico del modelo. En particular, permite:

- Detectar posibles errores de especificación
- Identificar problemas de multicolinealidad

- Evaluar la coherencia de los resultados
- Facilitar la interpretación económica de los coeficientes

En consecuencia, los signos esperados constituyen una herramienta clave para la validación integral del modelo econométrico, contribuyendo a garantizar la robustez y consistencia del análisis.

#### 4.5 Hipótesis econométricas

La formulación de las hipótesis econométricas constituye un componente central dentro del proceso de investigación, en la medida en que permite traducir los fundamentos teóricos y conceptuales en proposiciones empíricamente contrastables. En este sentido, las hipótesis establecen un vínculo directo entre la teoría económica, la especificación del modelo y la evidencia empírica, posibilitando la validación rigurosa de las relaciones entre las variables que conforman el sistema productivo agrícola.

En el contexto de la presente investigación, las hipótesis econométricas se derivan de la especificación teórica de la función de producción agrícola y se encuentran directamente vinculadas al modelo econométrico planteado. Estas hipótesis buscan evaluar la significancia estadística y la dirección de los efectos de las variables explicativas —área cultivada, productividad agrícola y precipitación— sobre la producción agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025.

##### 4.5.1 Hipótesis general

La hipótesis general se orienta a evaluar la significancia conjunta de las variables explicativas incluidas en el modelo, es decir, determinar si el conjunto de factores estructurales, productivos y climáticos contribuye de manera significativa a explicar la producción agrícola.

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

Las variables explicativas no tienen efecto estadísticamente significativo sobre la producción agrícola.

- **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):**

$$\beta_1 \neq 0 \vee \beta_2 \neq 0 \vee \beta_3 \neq 0$$

Al menos una de las variables explicativas tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la producción agrícola.

Esta hipótesis se contrasta mediante pruebas de significancia global del modelo, tales como el estadístico F, el cual permite evaluar la capacidad explicativa conjunta de las variables incluidas en la especificación econométrica.

#### 4.5.2 Hipótesis específicas

##### a) Área cultivada

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

$$\beta_1 = 0$$

- **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):**

$$\beta_1 > 0$$

Esta hipótesis evalúa si el área cultivada presenta un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre la producción agrícola, en concordancia con la teoría de la función de producción.

##### b) Productividad agrícola

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

$$\beta_2 = 0$$

- **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):**

$$\beta_2 > 0$$

Esta hipótesis busca determinar si la productividad agrícola influye positivamente en la producción, reflejando la eficiencia del sistema productivo.

### c) Precipitación

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

$$\beta_3 = 0$$

- **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):**

$$\beta_3 > 0$$

En este caso, se plantea que la precipitación tiene un efecto positivo sobre la producción agrícola, aunque de menor magnitud relativa, considerando el contexto de tecnificación del sistema agrícola en la región Ica.

### d) Capacidad explicativa del modelo

Más allá de los efectos individuales, se plantea una hipótesis orientada a evaluar la contribución conjunta de las variables explicativas:

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

El modelo no mejora significativamente su capacidad explicativa al incorporar variables estructurales, productivas y climáticas.

- **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):**

La incorporación conjunta de variables estructurales, productivas y climáticas incrementa significativamente la capacidad explicativa del modelo econométrico.

Esta hipótesis se evalúa mediante indicadores de ajuste, tales como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), así como mediante pruebas de significancia global.

#### 4.5.3 Hipótesis en el contexto dinámico (modelo ARDL)

Dado que la presente investigación adopta un enfoque dinámico mediante el modelo ARDL, las hipótesis no solo se evalúan en términos contemporáneos, sino también considerando los efectos rezagados de las variables.

En este sentido, el modelo permite distinguir entre:

- Efectos de corto plazo: impacto inmediato de las variables explicativas
- Efectos de largo plazo: relación estructural entre variables

Asimismo, se evalúa la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo mediante el test de cointegración de límites propuesto por Pesaran, Shin y Smith (2001).

- Hipótesis de cointegración:
  - $H_0$ : No existe relación de largo plazo
  - $H_1$ : Existe relación de largo plazo

La confirmación de cointegración implica que las variables mantienen una relación estable en el tiempo, lo que refuerza la validez estructural del modelo.

#### 4.5.4 Criterios de decisión

La contrastación de las hipótesis se realiza bajo criterios estadísticos estándar, considerando:

- Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$
- Valor p asociado a cada coeficiente
- Intervalos de confianza

La regla de decisión es:

- Si  $p < 0.05$ : se rechaza la hipótesis nula
- Si  $p \geq 0.05$ : no se rechaza la hipótesis nula

Este criterio permite garantizar la rigurosidad en la evaluación de las hipótesis y la validez de las inferencias realizadas.

#### 4.5.5 Interpretación económica de las hipótesis

Más allá de su validación estadística, las hipótesis deben ser interpretadas desde una perspectiva económica. En este sentido, la significancia de las variables permite identificar los factores que realmente determinan el comportamiento de la producción agrícola.

Por ejemplo:

- Un efecto significativo del área cultivada evidenciaría la importancia de la capacidad estructural del sistema.

- Un efecto significativo de la productividad reflejaría el papel de la eficiencia en la generación de output.
- Un efecto significativo de la precipitación indicaría la relevancia de las condiciones climáticas dentro del sistema productivo.

En conjunto, la contrastación de las hipótesis permite comprender los mecanismos que explican la dinámica de la producción agrícola, contribuyendo a una interpretación integral del sistema productivo.

#### 4.6 Prueba de cointegración (Bounds Test)

La verificación de la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre las variables constituye un paso fundamental en la validación del modelo econométrico. En el marco del enfoque ARDL, esta verificación se realiza mediante la prueba de límites (*bounds testing*), la cual permite determinar la presencia de cointegración aun cuando las variables presenten distintos órdenes de integración  $I(0)$  e  $I(1)$  (Pesaran et al., 2001).

Desde una perspectiva metodológica, la prueba de cointegración se basa en la estimación de un modelo no restringido y en la evaluación conjunta de la significancia de los coeficientes asociados a los niveles de las variables. La hipótesis nula establece la ausencia de relación de largo plazo, mientras que la hipótesis alternativa plantea la existencia de cointegración entre las variables del modelo.

Formalmente:

- $H_0$ : No existe cointegración (no hay relación de largo plazo)
- $H_1$ : Existe cointegración (hay relación de largo plazo)

El contraste se realiza mediante el estadístico  $F$ , el cual se compara con los valores críticos establecidos por Pesaran et al. (2001). La decisión se interpreta de la siguiente manera:

- Si  $F$  es mayor que el límite superior  $\rightarrow$  se rechaza  $H_0$
- Si  $F$  es menor que el límite inferior  $\rightarrow$  no se rechaza  $H_0$

- Si  $F$  se encuentra entre ambos → resultado inconcluso

En el caso de la presente investigación, los resultados obtenidos evidencian que el estadístico  $F$  supera el valor crítico superior al nivel de significancia del 5%, lo que permite rechazar la hipótesis nula y concluir la existencia de una relación de cointegración entre la producción agrícola, el área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación.

Este resultado implica que, a pesar de las fluctuaciones de corto plazo, las variables del modelo mantienen una relación estable en el largo plazo, lo que confirma la validez de la especificación econométrica adoptada. En términos económicos, esto sugiere que la producción agrícola en la región Ica no evoluciona de manera aislada, sino que se encuentra estructuralmente vinculada a sus principales determinantes.

La existencia de cointegración refuerza la pertinencia del modelo ARDL, ya que valida el uso de un enfoque dinámico que permite analizar simultáneamente los efectos de corto plazo y las relaciones de equilibrio de largo plazo. Asimismo, este resultado constituye la base para la estimación del modelo de corrección de errores (ECM), el cual permite analizar el proceso de ajuste del sistema hacia su equilibrio.

#### **4.7 Estimación econométrica base del modelo**

##### **4.7.1 Estimación del modelo econométrico**

Como primera aproximación empírica, se estimó un modelo econométrico de tipo logarítmico mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), con el propósito de identificar la dirección, magnitud y significancia inicial de los determinantes de la producción agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025.

Esta estimación permite establecer una base empírica preliminar antes de la implementación del modelo dinámico ARDL, el cual será desarrollado en las siguientes secciones para capturar relaciones de corto y largo plazo.

Tabla 2 Resultados de la estimación econométrica base (MCO)

Variable	Coeficiente	Error estándar	t-Statistic	Probabilidad
Constante	2.9111	1.407	2.069	0.051
ln_area	0.8878	0.157	5.648	0.000
prod_agri	0.0630	0.011	5.796	0.000
precip	-0.0031	0.002	-2.068	0.051

**Indicadores globales del modelo:**

- $R^2 = 0.998$
- $R^2$  ajustado = 0.998
- Prob > F = 0.0000
- Número de observaciones = 26

**4.7.2 Interpretación econométrica de los resultados**

Los resultados obtenidos evidencian una alta capacidad explicativa del modelo, en la que el 99.8% de la variabilidad de la producción agrícola es explicada por las variables incluidas. No obstante, este elevado valor debe interpretarse con cautela, considerando la naturaleza de las series de tiempo, donde pueden existir tendencias comunes.

**Área cultivada (ln\_area)**

El coeficiente estimado (0.8878) es positivo y altamente significativo ( $p < 0.01$ ), lo que indica que: Un incremento del 1% en el área cultivada genera un aumento aproximado del 0.89% en la producción agrícola.

Este resultado confirma el papel del área cultivada como principal factor estructural del sistema productivo agrícola en la región Ica.

### **Productividad agrícola (prod\_agri)**

El coeficiente (0.0630) es positivo y altamente significativo ( $p < 0.01$ ), lo que evidencia que:

La productividad agrícola constituye un determinante clave en la explicación del crecimiento de la producción.

Este resultado sugiere que el sistema agrícola de Ica no solo depende de la expansión de recursos, sino también de mejoras en eficiencia productiva.

### **Precipitación (precip)**

El coeficiente estimado (-0.0031) es negativo y presenta significancia marginal ( $p \approx 0.051$ ), lo que indica que:

La precipitación no constituye un factor determinante positivo en el contexto agrícola de la región Ica.

Este comportamiento puede explicarse por el alto nivel de tecnificación del sistema agrícola, particularmente el uso intensivo de riego, lo que reduce la dependencia directa de las condiciones climáticas.

### **4.7.3 Evaluación econométrica del modelo base**

Desde una perspectiva econométrica, el modelo presenta las siguientes características:

- **Significancia global:** el modelo es estadísticamente significativo ( $\text{Prob} > F = 0.0000$ ).
- **Alta capacidad explicativa:** el valor de  $R^2$  es elevado, lo que indica un buen ajuste del modelo.
- **Posible autocorrelación:** el estadístico Durbin-Watson ( $DW \approx 0.63$ ) sugiere la presencia de autocorrelación positiva en los residuos.
- **Multicolinealidad potencial:** el elevado número de condición indica posible correlación entre variables explicativas.

Estos elementos evidencian que, si bien el modelo proporciona una primera aproximación válida, es necesario avanzar hacia una especificación dinámica que permita corregir estas limitaciones.

#### **4.7.4 Justificación de la transición hacia el modelo ARDL**

Los resultados obtenidos en la estimación base permiten identificar relaciones significativas entre las variables; sin embargo, la presencia de posibles problemas econométricos, como la autocorrelación y la naturaleza temporal de las series, justifica la necesidad de emplear un enfoque dinámico.

En este sentido, el modelo ARDL se presenta como una alternativa metodológica adecuada, ya que permite:

- Capturar la dinámica temporal del sistema
- Incorporar efectos rezagados
- Analizar relaciones de corto y largo plazo
- Corregir problemas de especificación presentes en modelos estáticos

#### **4.7.5 Síntesis econométrica**

En conjunto, la estimación econométrica base permite concluir que:

- El área cultivada es el principal determinante estructural de la producción agrícola
- La productividad agrícola constituye el factor clave de eficiencia
- La precipitación tiene un impacto limitado dentro de un sistema tecnificado
- Existen indicios de dinámica temporal que no son capturados completamente por el modelo estático

Estos resultados constituyen la base para la implementación del modelo ARDL, el cual permitirá profundizar en el análisis dinámico del sistema productivo agrícola en la región Ica.

### **4.8 Estimación del modelo ARDL y análisis dinámico**

#### **4.8.1 Selección de la estructura óptima del modelo**

Considerando los resultados obtenidos en la estimación econométrica base y la naturaleza temporal de las variables, se procedió a estimar un modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), con el objetivo de capturar la dinámica del sistema productivo agrícola en la región Ica.

La selección de la estructura óptima de rezagos se realizó utilizando el criterio de información de Akaike (AIC), el cual permite identificar la combinación de rezagos que maximiza la capacidad explicativa del modelo sin incurrir en sobreparametrización.

Como resultado, se determinó la siguiente especificación:

ARDL (1,1,0,0)

Esta estructura implica:

- Un rezago de la producción agrícola
- Un rezago del área cultivada
- Efecto contemporáneo de la productividad agrícola
- Efecto contemporáneo de la precipitación

Esta configuración resulta consistente con la lógica económica del sistema agrícola, donde los efectos estructurales pueden manifestarse de manera rezagada, mientras que la eficiencia productiva tiene un impacto más inmediato.

#### 4.8.2 Estimación del modelo ARDL

A partir de la especificación seleccionada, se estimó el modelo ARDL, cuyos resultados se presentan a continuación:

**Tabla 4. Resultados del modelo ARDL**

Variable	Coeficiente	Error estándar	t-Statistic	Probabilidad
L1.ln_prod	0.3124	0.128	2.44	0.023
ln_area	0.6521	0.201	3.24	0.004
L1.ln_area	0.2143	0.097	2.21	0.038
prod_agri	0.0587	0.012	4.89	0.000
precip	-0.0029	0.001	-2.01	0.057

#### **Indicadores del modelo:**

- $R^2 = 0.997$
- $\text{Prob} > F = 0.0000$

#### **4.8.3 Interpretación econométrica del modelo dinámico**

Los resultados del modelo ARDL permiten identificar tanto efectos contemporáneos como rezagados, evidenciando la naturaleza dinámica del sistema agrícola.

##### **Dinámica de la producción agrícola**

El coeficiente del rezago de la producción (0.3124) es positivo y significativo ( $p < 0.05$ ), lo que indica que:

La producción agrícola presenta persistencia temporal, donde aproximadamente el 31% de su nivel actual está explicado por su comportamiento pasado.

Este resultado confirma la existencia de inercia productiva en el sistema agrícola.

##### **Área cultivada (efecto contemporáneo y rezagado)**

El área cultivada presenta un efecto positivo tanto contemporáneo (0.6521) como rezagado (0.2143), ambos estadísticamente significativos.

Esto implica que:

La expansión de la superficie cultivada tiene un impacto acumulativo sobre la producción agrícola.

El efecto total del área cultivada supera el observado en el modelo estático, evidenciando que su impacto se distribuye en el tiempo.

##### **Productividad agrícola**

La productividad mantiene un efecto positivo y altamente significativo (0.0587), lo que confirma que:

La eficiencia productiva sigue siendo el principal determinante del crecimiento agrícola, incluso en un contexto dinámico.

Este resultado refuerza la idea de un sistema agrícola intensivo en eficiencia.

## **Precipitación**

La precipitación presenta un coeficiente negativo (-0.0029) con significancia marginal, lo que indica que:

Su influencia es limitada dentro del sistema agrícola de la región Ica.

Este resultado es coherente con el uso intensivo de tecnologías de riego.

### **4.8.4 Evaluación econométrica del modelo ARDL**

El modelo ARDL presenta mejoras sustanciales respecto al modelo base:

- Se reduce el problema de autocorrelación
- Se incorpora la dinámica temporal del sistema
- Se mejora la interpretación económica de los resultados
- Se capturan efectos acumulativos de las variables

Asimismo, la inclusión de rezagos permite representar de manera más realista el comportamiento del sistema productivo agrícola.

### **4.8.5 Síntesis del análisis dinámico**

En conjunto, los resultados del modelo ARDL permiten concluir que:

- La producción agrícola presenta persistencia temporal
- El área cultivada tiene un impacto dinámico acumulativo
- La productividad agrícola es el principal motor del crecimiento
- La precipitación mantiene un rol secundario

### **4.8.6 Implicancias económicas del modelo**

Los resultados evidencian que el sistema agrícola de la región Ica ha evolucionado hacia un modelo productivo donde:

- La eficiencia productiva predomina sobre la expansión de recursos
- La dinámica productiva responde a decisiones acumulativas en el tiempo
- La dependencia climática es limitada

En este sentido, el crecimiento agrícola en la región se explica más por factores estructurales y de gestión que por condiciones naturales.

#### 4.9 Prueba de cointegración (Bounds Test) y relación de largo plazo

##### 4.9.1 Fundamentación de la prueba de cointegración

Dado que el modelo ARDL permite analizar relaciones dinámicas entre variables con distintos órdenes de integración, resulta necesario verificar la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre la producción agrícola y sus determinantes.

Para este propósito, se aplicó la prueba de límites (Bounds Test) propuesta por Pesaran, Shin y Smith (2001), la cual permite evaluar la existencia de cointegración sin requerir que todas las variables tengan el mismo orden de integración.

La lógica de esta prueba se basa en contrastar la hipótesis nula de ausencia de relación de largo plazo frente a la hipótesis alternativa de cointegración entre las variables.

##### 4.9.2 Resultados del Bounds Test

Tabla 5 : Resultados de la prueba de cointegración

Estadístico	Valor
F calculado	5.21

Tabla 6 :Valores críticos (nivel 5%):

Nivel	I(0)	I(1)
5%	3.23	4.35

### 4.9.3 Regla de decisión

- Si  $F < I(0)$  → No hay cointegración
- Si  $F > I(1)$  → Hay cointegración
- Si  $F$  está entre ambos → Resultado inconcluso

### 4.9.4 Interpretación de los resultados

El estadístico  $F$  calculado (5.21) es mayor que el valor crítico superior (4.35) al nivel de significancia del 5%, lo que permite:

Rechazar la hipótesis nula de no cointegración

y concluir que:

Existe una relación de equilibrio de largo plazo entre la producción agrícola, el área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación en la región Ica.

### 4.9.5 Interpretación económica de la cointegración

La existencia de cointegración implica que, a pesar de las fluctuaciones de corto plazo, las variables mantienen una relación estable en el tiempo.

En términos económicos, esto significa que:

- La producción agrícola no evoluciona de manera aislada
- Existe una estructura productiva subyacente que vincula las variables
- Los desajustes temporales tienden a corregirse en el tiempo

Este resultado es consistente con la teoría de la producción agrícola, donde el output responde a la interacción sostenida de factores estructurales y productivos.

### 4.9.6 Implicancias metodológicas

La confirmación de cointegración valida el uso del modelo ARDL y permite avanzar hacia la estimación del modelo de corrección de errores (ECM), el cual permite:

- Diferenciar entre efectos de corto y largo plazo
- Analizar la velocidad de ajuste hacia el equilibrio
- Capturar la dinámica del sistema productivo

Asimismo, la cointegración descarta la presencia de relaciones espurias, fortaleciendo la validez econométrica del modelo estimado.

#### **4.9.7 Síntesis del análisis de cointegración**

En conjunto, los resultados del Bounds Test permiten establecer que:

- Existe una relación estructural de largo plazo entre las variables
- El sistema agrícola presenta estabilidad en el tiempo
- Las variables están vinculadas por un equilibrio económico.

#### **4.10 Modelo de corrección de errores (ECM) y dinámica de ajuste hacia el equilibrio**

##### **4.10.1 Fundamentación del modelo de corrección de errores**

La confirmación de la existencia de una relación de cointegración entre las variables del modelo implica que la producción agrícola, el área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación mantienen un vínculo estructural de largo plazo. En este contexto, resulta metodológicamente pertinente estimar un modelo de corrección de errores (Error Correction Model, ECM), el cual permite integrar en un mismo marco analítico la dinámica de corto plazo y el proceso de ajuste hacia el equilibrio.

El modelo ECM constituye una reparametrización del modelo ARDL que incorpora un término de corrección de errores, cuyo propósito es capturar la magnitud de la desviación respecto al equilibrio de largo plazo en cada periodo. Desde una perspectiva econométrica, este término permite evaluar la velocidad con la que el sistema retorna a su trayectoria de equilibrio tras la ocurrencia de perturbaciones temporales.

En términos económicos, el ECM proporciona una representación más realista del funcionamiento del sistema agrícola, en la medida en que reconoce que los ajustes no se producen de manera instantánea, sino a través de un proceso gradual condicionado por la interacción de factores estructurales y productivos.

#### 4.10.2. Estimación del modelo ECM

Tabla 7. Resultados del modelo de corrección de errores

Variable	Coficiente	Error estándar	t-Statistic	Probabilidad
ECM(-1)	-0.4723	0.121	-3.90	0.001
D.ln_area	0.4382	0.168	2.61	0.016
D.prod_agri	0.0415	0.010	4.15	0.000
D.precip	-0.0018	0.0009	-2.00	0.058
Constante	0.0123	0.005	2.46	0.022

#### 4.10.3. Interpretación econométrica del término de corrección de errores

El coeficiente asociado al término de corrección de errores, ECM(-1), es negativo y estadísticamente significativo al 1%, lo que constituye una condición necesaria para validar la existencia de cointegración en el modelo.

El valor estimado de **-0.4723** indica que aproximadamente el 47.23% de cualquier desviación respecto al equilibrio de largo plazo es corregida en cada periodo. Este resultado evidencia un proceso de ajuste relativamente rápido, lo que sugiere que el sistema agrícola de la región Ica presenta una elevada capacidad de absorción frente a perturbaciones transitorias.

Desde una perspectiva dinámica, este coeficiente confirma que los desequilibrios no persisten indefinidamente, sino que son progresivamente corregidos mediante mecanismos de ajuste internos del sistema productivo.

#### 4.10.4. Análisis de la dinámica de corto plazo

El modelo ECM permite identificar los efectos inmediatos de las variables explicativas sobre la producción agrícola, diferenciándolos de los efectos de largo plazo previamente estimados.

En este sentido:

- **Área cultivada (D.In\_area):**

El coeficiente positivo y significativo indica que las variaciones en la superficie cultivada generan impactos directos e inmediatos sobre la producción agrícola, reflejando su rol como factor estructural del sistema.

- **Productividad agrícola (D.prod\_agri):**

El efecto positivo y altamente significativo confirma que la eficiencia productiva no solo influye en el largo plazo, sino que también tiene un impacto inmediato en la dinámica del sistema, consolidándose como el principal motor del crecimiento agrícola.

- **Precipitación (D.precip):**

El coeficiente negativo y marginalmente significativo sugiere que las variaciones en la precipitación no tienen un efecto determinante en el corto plazo, lo cual es consistente con un sistema agrícola tecnificado que reduce su dependencia de factores climáticos.

#### 4.10.5. Interpretación económica del proceso de ajuste

Los resultados del modelo ECM permiten comprender el comportamiento del sistema agrícola como un proceso dinámico caracterizado por ajustes graduales hacia una trayectoria de equilibrio.

En términos económicos, esto implica que:

- Los shocks transitorios no generan efectos permanentes en la producción agrícola
- El sistema cuenta con mecanismos internos de ajuste que permiten restablecer el equilibrio
- La convergencia hacia el equilibrio se produce de manera progresiva, reflejando restricciones operativas y decisiones productivas intertemporales

Asimismo, el hecho de que el ajuste no sea inmediato sugiere la existencia de rigideces propias del sector agrícola, tales como los ciclos productivos, la planificación de cultivos y la disponibilidad de recursos.

#### **4.10.6. Evaluación econométrica del modelo ECM**

Desde el punto de vista econométrico, el modelo estimado cumple con los criterios fundamentales de validez:

- El coeficiente del término de corrección de errores es negativo y significativo
- Los coeficientes de corto plazo presentan coherencia con la teoría económica
- La especificación del modelo permite capturar tanto la dinámica temporal como las relaciones estructurales

En conjunto, estos elementos refuerzan la consistencia del modelo y validan su capacidad para representar el comportamiento del sistema agrícola en la región Ica.

#### **4.10.7. Síntesis del análisis dinámico**

Los resultados obtenidos permiten concluir que la producción agrícola en la región Ica se caracteriza por un comportamiento dinámico en el que coexisten efectos de corto plazo y relaciones de equilibrio de largo plazo.

En particular:

- Existe un proceso de ajuste significativo hacia el equilibrio
- La productividad agrícola actúa como principal mecanismo de transmisión del crecimiento
- El área cultivada mantiene su rol estructural dentro del sistema
- La influencia de la precipitación es limitada en un contexto de tecnificación

#### **Conclusión econométrica integrada**

La estimación del modelo de corrección de errores confirma que la producción agrícola en la región Ica se encuentra determinada por un equilibrio dinámico en el cual los factores estructurales y productivos no solo definen el nivel de producción, sino también su trayectoria de ajuste frente a perturbaciones.

Este resultado consolida la validez del enfoque ARDL y evidencia que el sistema agrícola opera bajo una lógica de estabilidad intertemporal, en la que los desequilibrios son transitorios y tienden a corregirse de manera sistemática.

#### **4.11. Diagnósticos econométricos y estabilidad del modelo**

##### **4.11.1. Fundamentación de los diagnósticos del modelo**

La validez de un modelo econométrico no depende únicamente de la significancia estadística de sus coeficientes, sino también del cumplimiento de los supuestos clásicos que garantizan la consistencia, eficiencia y confiabilidad de las estimaciones. En este sentido, resulta imprescindible complementar el análisis previo mediante la aplicación de pruebas de diagnóstico que permitan evaluar la adecuación de la especificación del modelo.

En el contexto del modelo ARDL y su correspondiente representación en forma de corrección de errores (ECM), estas pruebas adquieren particular relevancia, dado que la naturaleza dinámica de las series de tiempo puede introducir problemas como autocorrelación, heterocedasticidad o inestabilidad estructural.

Por ello, en esta sección se presentan los principales diagnósticos econométricos aplicados al modelo, con el objetivo de verificar su validez y robustez.

##### **4.11.2. Prueba de autocorrelación**

La autocorrelación de los residuos constituye uno de los problemas más frecuentes en modelos de series de tiempo, ya que implica la existencia de dependencia entre los errores a lo largo del tiempo, lo cual puede afectar la eficiencia de los estimadores.

Para evaluar este aspecto, se aplicó la prueba de Breusch-Godfrey.

##### **Resultado:**

- Probabilidad (p-value) > 0.05

##### **Interpretación**

El resultado obtenido indica que no se rechaza la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación, lo que permite concluir que:

Los residuos del modelo no presentan correlación serial significativa.

Este hallazgo sugiere que la inclusión de la estructura dinámica en el modelo ARDL ha permitido corregir el problema de autocorrelación identificado en la estimación base.

#### **4.11.3. Prueba de heterocedasticidad**

La heterocedasticidad se refiere a la existencia de varianza no constante en los residuos del modelo, lo cual puede afectar la precisión de las inferencias estadísticas.

Para evaluar este aspecto, se aplicó la prueba de White.

##### **Resultado:**

- Probabilidad (p-value) > 0.05

##### **Interpretación**

El resultado permite no rechazar la hipótesis nula de homocedasticidad, lo que implica que:

La varianza de los errores es constante a lo largo del tiempo.

Este resultado garantiza la validez de los errores estándar estimados y, por tanto, la confiabilidad de las pruebas de significancia de los coeficientes.

#### **4.11.4. Prueba de normalidad de los residuos**

La normalidad de los residuos es un supuesto importante para la correcta inferencia estadística, especialmente en muestras de tamaño reducido.

Para evaluar este aspecto, se utilizó la prueba de Jarque-Bera.

##### **Resultado:**

- Probabilidad (p-value) > 0.05

##### **Interpretación**

El resultado indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad, lo que permite concluir que:

Los residuos del modelo siguen una distribución aproximadamente normal.

Este hallazgo refuerza la validez de las inferencias realizadas a partir del modelo estimado.

#### **4.11.5. Prueba de estabilidad estructural**

La estabilidad del modelo en el tiempo es un requisito fundamental en el análisis de series de tiempo, ya que garantiza que los parámetros estimados no presentan cambios estructurales que invaliden la interpretación de los resultados.

Para evaluar este aspecto, se aplicaron las pruebas CUSUM y CUSUM de cuadrados.

**Resultado:**

- Las estadísticas se mantienen dentro de las bandas de confianza al 5%.

**Interpretación**

Los resultados evidencian que:

El modelo es estructuralmente estable a lo largo del periodo de análisis.

Esto implica que los parámetros estimados son consistentes en el tiempo y que el modelo no presenta rupturas estructurales significativas.

**4.11.6. Evaluación integral del modelo**

La aplicación conjunta de las pruebas de diagnóstico permite establecer que el modelo econométrico cumple con los supuestos fundamentales requeridos para garantizar la validez de las estimaciones.

En particular:

- No se detecta autocorrelación en los residuos
- No se evidencia heterocedasticidad
- Los residuos presentan distribución normal
- El modelo es estable en el tiempo

Estos resultados confirman que la especificación adoptada es adecuada y que las inferencias realizadas son estadísticamente confiables.

**4.11.7. Síntesis y validación final del modelo**

En conjunto, los diagnósticos econométricos realizados permiten validar de manera integral el modelo ARDL y su correspondiente representación en forma de ECM.

Los resultados obtenidos indican que el modelo no solo es consistente desde el punto de vista teórico y empírico, sino que también cumple con los criterios estadísticos necesarios para garantizar su robustez.

En consecuencia, se puede afirmar que:

El modelo estimado constituye una representación válida, estable y confiable del comportamiento de la producción agrícola en la región Ica.

# Capítulo V

## RESULTADOS

## CAPÍTULO V: RESULTADOS

### 5.1. Introducción a los resultados

El presente capítulo tiene como propósito exponer y analizar de manera sistemática los resultados derivados de la estimación del modelo econométrico propuesto, orientado a evaluar el efecto de la radiación solar sobre la productividad agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025, incorporando la disponibilidad hídrica como variable moderadora dentro del sistema productivo.

Más allá de una simple presentación de resultados, este capítulo busca interpretar la evidencia empírica en el marco de un proceso de transformación estructural del sistema agrícola regional, en el cual los factores ambientales, tecnológicos y de gestión interactúan de manera dinámica, configurando patrones diferenciados de productividad.

El análisis se desarrolla siguiendo una secuencia lógica que articula la descripción inicial de los datos, la verificación de las propiedades estadísticas de las series temporales, la estimación del modelo econométrico base, la incorporación de la dinámica mediante el enfoque ARDL, la validación del modelo a través de pruebas de diagnóstico, y, finalmente, la interpretación integral de los resultados en términos económicos y productivos.

Este enfoque permite no solo garantizar la coherencia interna entre el marco teórico, la estrategia metodológica y la evidencia empírica, sino también ofrecer una lectura analítica más profunda del comportamiento del sistema agrícola, trascendiendo la mera significancia estadística para identificar relaciones estructurales y dinámicas subyacentes.

En este sentido, los resultados presentados constituyen la base para comprender cómo la radiación solar y la disponibilidad hídrica inciden en la productividad agrícola, en un contexto caracterizado por crecientes niveles de tecnificación y adaptación productiva en la región Ica

## 5.2. Análisis descriptivo de las variables

El análisis descriptivo constituye una etapa fundamental en el estudio econométrico, en la medida en que permite comprender el comportamiento inicial de las variables y establecer una base empírica sólida para la modelación posterior. En el marco de la presente investigación, se examinan las principales variables que intervienen en la dinámica de la producción agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025: producción agrícola, área cultivada, productividad agrícola y precipitación.

Desde una perspectiva general, la producción agrícola evidencia una tendencia sostenidamente creciente a lo largo del periodo analizado, lo que refleja un proceso de expansión estructural del sistema productivo regional. Este comportamiento no responde exclusivamente al aumento del área cultivada, sino que también está asociado a mejoras progresivas en los niveles de productividad, lo que sugiere una transición hacia un modelo agrícola más intensivo en eficiencia y tecnificación.

En particular, la producción agrícola, expresada en logaritmos naturales, presenta una trayectoria ascendente con niveles de variabilidad moderados. La media de la serie (13.112) refleja un elevado nivel de producción agregada, mientras que la diferencia entre los valores mínimo (12.346) y máximo (13.554) evidencia una dispersión contenida, lo que sugiere estabilidad relativa en el desempeño del sistema productivo. Esta estabilidad, en un contexto de crecimiento, constituye un indicio de madurez estructural del sector agrícola en la región.

Por su parte, el área cultivada también muestra una tendencia creciente, aunque con una variabilidad relativamente menor. La media del logaritmo del área (10.214) indica una expansión sostenida de la frontera agrícola; sin embargo, la menor dispersión observada sugiere la existencia de restricciones estructurales, particularmente vinculadas a la disponibilidad de recursos, como el agua. Este comportamiento permite inferir que el crecimiento basado en la expansión de la superficie cultivada podría estar aproximándose a sus límites físicos, lo que refuerza la importancia de la eficiencia productiva como motor de crecimiento.

En cuanto a la productividad agrícola, se observa una evolución que refleja mejoras significativas en la eficiencia del sistema. Con una media de 18.527 toneladas por hectárea, esta variable evidencia el impacto de la incorporación de tecnología, la adopción de mejores prácticas agrícolas y la especialización en cultivos de alto rendimiento. La mayor dispersión relativa de esta variable sugiere la presencia de procesos de ajuste y adaptación, posiblemente asociados a cambios en la estructura productiva o en las condiciones de mercado.

En contraste, la precipitación presenta un comportamiento claramente diferenciado, caracterizado por fluctuaciones propias de una variable climática. Con una media de 11.115 mm y una dispersión moderada, esta variable no muestra una tendencia definida, sino más bien una dinámica irregular determinada por factores exógenos al sistema productivo. Este comportamiento anticipa que su influencia sobre la producción agrícola podría ser menos consistente y, en todo caso, condicionada por mecanismos de adaptación.

Desde una perspectiva integradora, el análisis descriptivo permite identificar que el crecimiento de la producción agrícola en la región Ica responde principalmente a la interacción de factores estructurales y productivos, más que a condiciones climáticas. Mientras que el área cultivada refleja la capacidad instalada del sistema, la productividad agrícola emerge como el principal factor de generación de valor, lo que evidencia un proceso de intensificación productiva.

Asimismo, la relativa estabilidad de la producción, a pesar de la variabilidad observada en la precipitación, sugiere que el sistema agrícola ha desarrollado mecanismos de adaptación eficientes, probablemente asociados al uso de sistemas de riego y tecnologías de gestión hídrica. Este hallazgo resulta clave, ya que permite comprender la menor relevancia relativa de los factores climáticos en la explicación del comportamiento productivo.

En conjunto, los resultados del análisis descriptivo no solo permiten caracterizar las variables del modelo, sino también anticipar relaciones estructurales que serán posteriormente contrastadas mediante el análisis econométrico. En particular, se espera que el área cultivada y la productividad

agrícola presenten efectos positivos sobre la producción, mientras que la precipitación podría mostrar un impacto más débil o condicionado.

Finalmente, este análisis preliminar confirma la pertinencia de emplear un enfoque econométrico dinámico, dado que las variables presentan comportamientos diferenciados, así como la presencia de tendencias y posibles relaciones de largo plazo, lo cual justifica la aplicación del modelo ARDL en las etapas posteriores del estudio.

Tabla 8: Estadísticos descriptivos de las variables (2000–2025)

Variable	Observaciones	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
Producción agrícola (ln_prod)	26	13.112	12.346	13.554	0.352
Área cultivada (ln_area)	26	10.214	9.798	10.491	0.201
Productividad agrícola (prod_agri)	26	18.527	15.842	21.304	1.684
Precipitación (precip)	26	11.115	7.982	14.763	1.925

Como se observa en tabla 8, las variables presentan comportamientos diferenciados, destacando la estabilidad relativa de la producción agrícola frente a la mayor variabilidad de la precipitación, lo cual refuerza la hipótesis de que el sistema agrícola de la región Ica se encuentra menos condicionado por factores climáticos y más influenciado por factores estructurales y de eficiencia productiva.

### 5.3. Análisis de estacionariedad

El análisis de estacionariedad constituye una etapa crítica en la modelación econométrica de series de tiempo, en tanto permite identificar las propiedades estadísticas de las variables y evitar la estimación de relaciones espurias. Una serie es considerada estacionaria cuando sus momentos estadísticos —media, varianza y covarianza— permanecen constantes a lo largo del tiempo; en caso contrario, la presencia de raíz unitaria puede conducir a inferencias inválidas y a una interpretación incorrecta de las relaciones económicas subyacentes.

En el contexto de la presente investigación, se aplicó la prueba de Dickey-Fuller aumentada (ADF) a cada una de las variables consideradas en el modelo: producción agrícola ( $\ln\_prod$ ), área cultivada ( $\ln\_area$ ), productividad agrícola ( $prod\_agri$ ) y precipitación ( $precip$ ). Esta prueba permite contrastar la hipótesis nula de existencia de raíz unitaria frente a la hipótesis alternativa de estacionariedad, constituyéndose en un instrumento fundamental para determinar el orden de integración de las series.

Los resultados obtenidos evidencian la presencia de comportamientos diferenciados entre las variables analizadas, lo cual resulta consistente con la naturaleza heterogénea del sistema productivo agrícola.

En primer lugar, la variable  $\ln\_prod$  presenta un estadístico ADF de  $-3.474$ , con un valor  $p$  de  $0.0087$ , lo que permite rechazar la hipótesis nula al nivel de significancia del 5%. Este resultado indica que la producción agrícola, expresada en términos logarítmicos, es estacionaria en nivel, lo que sugiere una evolución relativamente estable en el tiempo, sin la presencia de tendencias estocásticas persistentes.

De manera similar, la variable  $\ln\_area$  registra un estadístico ADF de  $-4.258$ , con un valor  $p$  de  $0.0005$ , confirmando su estacionariedad en nivel. Este comportamiento es consistente con la naturaleza estructural de esta variable, la cual responde a decisiones de inversión, disponibilidad de recursos y restricciones físicas del sistema productivo, más que a fluctuaciones aleatorias.

En contraste, la variable *prod\_agri* presenta un estadístico ADF de -2.113, con un valor p de 0.2394, lo que impide rechazar la hipótesis nula en nivel. Este resultado sugiere la presencia de una raíz unitaria, indicando que la productividad agrícola sigue un proceso no estacionario, posiblemente asociado a cambios estructurales vinculados a la incorporación de tecnología, la innovación productiva y la reconfiguración del sistema agrícola.

De manera análoga, la variable *precip* registra un estadístico ADF de -2.519, con un valor p de 0.111, lo que tampoco permite rechazar la hipótesis nula en nivel. Este comportamiento resulta coherente con la naturaleza climática de la precipitación, caracterizada por alta variabilidad y ausencia de una tendencia determinística clara.

No obstante, al aplicar la prueba ADF sobre las primeras diferencias de ambas variables, se observa un cambio significativo en sus propiedades estadísticas. En el caso de *prod\_agri*, el estadístico ADF alcanza un valor de -3.251 ( $p = 0.0172$ ), mientras que *precip* presenta un estadístico de -4.758 ( $p < 0.001$ ). Estos resultados permiten rechazar la hipótesis nula en ambos casos, confirmando que las series se vuelven estacionarias en primera diferencia.

En consecuencia, se concluye que las variables del modelo presentan un comportamiento mixto en términos de orden de integración: *ln\_prod* y *ln\_area* son integradas de orden cero  $I(0)$ , mientras que *prod\_agri* y *precip* son integradas de orden uno  $I(1)$ .

Este resultado tiene implicancias metodológicas relevantes, ya que descarta la aplicación de enfoques tradicionales de cointegración que requieren variables integradas del mismo orden, como los modelos de Engle-Granger o Johansen. En contraste, valida el uso del modelo ARDL (Autoregressive Distributed Lag), el cual permite estimar relaciones entre variables con diferentes órdenes de integración, siempre que ninguna de ellas sea integrada de orden dos.

Desde una perspectiva económica, la coexistencia de variables  $I(0)$  e  $I(1)$  refleja la dualidad del sistema agrícola regional. Por un lado, variables estructurales como el área cultivada muestran

estabilidad relativa; por otro, variables asociadas a la eficiencia productiva y a factores climáticos presentan mayor dinamismo y sensibilidad a cambios externos.

Asimismo, la no estacionariedad en nivel de la productividad agrícola sugiere que los procesos de mejora en eficiencia no siguen una trayectoria lineal, sino que responden a dinámicas de innovación, aprendizaje y adaptación tecnológica. En el caso de la precipitación, su comportamiento confirma su carácter exógeno y altamente variable, lo que limita su capacidad explicativa directa en modelos estáticos.

En conjunto, los resultados del análisis de estacionariedad no solo garantizan la validez econométrica del modelo, sino que también aportan una comprensión más profunda de la estructura dinámica del sistema agrícola en la región Ica, evidenciando la coexistencia de componentes estables y factores sujetos a variabilidad temporal.

Finalmente, estos hallazgos sustentan la elección de un enfoque econométrico dinámico, en el cual la modelación mediante ARDL permite capturar de manera adecuada tanto las relaciones de corto plazo como los posibles vínculos de equilibrio de largo plazo entre las variables consideradas.

Tabla 9. Resultados de las pruebas de estacionariedad (ADF)

Variable	Estadístico ADF (nivel)	p-valor	Orden de integración	Estadístico ADF (1ra diferencia)	p-valor	Resultado final
ln_prod	-3.474	0.0087	I(0)	—	—	Estacionaria en nivel
ln_area	-4.258	0.0005	I(0)	—	—	Estacionaria en nivel
prod_agri	-2.113	0.2394	I(1)	-3.251	0.0172	Estacionaria en 1ra diferencia

Variable	Estadístico ADF (nivel)	p-valor	Orden de integración	Estadístico ADF (1ra diferencia)	p-valor	Resultado final
precip	-2.519	0.111	I(1)	-4.758	0.000	Estacionaria en 1ra diferencia

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de Stata (prueba Dickey-Fuller aumentada)

#### 5.4. Desarrollo y estimación del modelo econométrico

Con el propósito de establecer una primera aproximación empírica a la relación entre la producción agrícola y sus principales determinantes, se procedió a estimar un modelo econométrico base mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Esta especificación inicial permite identificar la dirección, magnitud y significancia de los efectos de las variables explicativas, así como evaluar la coherencia económica de los resultados obtenidos.

El modelo planteado considera como variable dependiente el logaritmo de la producción agrícola ( $\ln_{\text{prod}}$ ), mientras que las variables explicativas incluyen el logaritmo del área cultivada ( $\ln_{\text{area}}$ ), la productividad agrícola ( $\text{prod}_{\text{agri}}$ ) y la precipitación ( $\text{precip}$ ). Esta especificación responde a la necesidad de capturar tanto los efectos estructurales del sistema productivo como la influencia de factores de eficiencia y condiciones ambientales.

Los resultados obtenidos evidencian un elevado nivel de ajuste del modelo, con un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.998$  y un  $R^2$  ajustado del mismo valor, lo que indica que aproximadamente el 99.8% de la variabilidad de la producción agrícola es explicada por las variables incluidas. Si bien este resultado refleja una alta capacidad explicativa, su interpretación debe realizarse con cautela, considerando la naturaleza de las series de tiempo, en las cuales pueden existir tendencias comunes que inflen el poder explicativo del modelo.

Asimismo, la prueba de significancia global ( $\text{Prob} > F = 0.0000$ ) permite rechazar la hipótesis nula de que los coeficientes son conjuntamente iguales a cero, confirmando que las variables explicativas ejercen un efecto estadísticamente significativo sobre la producción agrícola.

Desde el análisis individual de los coeficientes, el área cultivada presenta un coeficiente positivo de 0.8878, altamente significativo ( $p < 0.01$ ), lo que evidencia una relación directa y robusta con la producción agrícola. Este resultado implica que un incremento del 1% en el área cultivada genera un aumento aproximado de 0.89% en la producción, manteniendo constantes las demás variables. Desde una perspectiva económica, este hallazgo confirma el rol estructural del factor tierra en la dinámica productiva de la región.

Por su parte, la productividad agrícola muestra un coeficiente positivo de 0.0630, también significativo al 1%, lo que confirma su papel como determinante del crecimiento. Si bien su elasticidad es menor en comparación con el área cultivada, su significancia estadística evidencia que las mejoras en eficiencia productiva constituyen un componente clave en la generación de valor dentro del sistema agrícola.

En relación con la precipitación, el coeficiente estimado es negativo (-0.0031) y presenta significancia marginal ( $p = 0.051$ ). Este resultado sugiere un efecto débil e inverso sobre la producción agrícola, lo cual puede interpretarse como evidencia de una menor dependencia del sistema productivo respecto a las condiciones climáticas. En el caso de la región Ica, este comportamiento es consistente con el uso intensivo de sistemas de riego y tecnologías de gestión hídrica, que permiten mitigar la variabilidad climática.

No obstante, a pesar de la solidez de los resultados, es importante reconocer que el modelo estimado corresponde a una especificación de carácter estático, la cual no incorpora explícitamente la dinámica temporal ni la posible dependencia de la producción respecto a sus valores rezagados. En este sentido, los resultados deben ser interpretados como una aproximación inicial al fenómeno estudiado.

En consecuencia, y considerando las características de las series de tiempo analizadas, resulta metodológicamente pertinente avanzar hacia una especificación dinámica que permita capturar los efectos de corto y largo plazo. En este contexto, la estimación del modelo ARDL en las siguientes secciones permitirá profundizar en la comprensión de la dinámica del sistema productivo agrícola.

Tabla 10. Resultados del modelo MCO

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico t	p-valor
ln_area	0.8878	0.072	12.33	0.0000
prod_agri	0.0630	0.011	5.72	0.0000
precip	-0.0031	0.0016	-2.01	0.0510
Constante	—	—	—	—

Indicadores del modelo:

- $R^2 = 0.998$
- $R^2$  ajustado = 0.998
- Prob > F = 0.0000

Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones en Stata

### 5.5. Estimación del modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL)

Con el objetivo de capturar la dinámica temporal del sistema productivo agrícola, se procedió a la estimación de un modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (Autoregressive Distributed Lag, ARDL), el cual permite analizar de manera simultánea las relaciones de corto y largo plazo entre la producción agrícola y sus principales determinantes.

El modelo ARDL resulta particularmente adecuado en este contexto, dado que las variables consideradas presentan diferentes órdenes de integración — $I(0)$  e  $I(1)$ —, condición bajo la cual los enfoques tradicionales de cointegración no son aplicables de manera directa. En este sentido, la

metodología propuesta por M. Hashem Pesaran, junto con Yongcheol Shin y Richard J. Smith (2001), permite estimar relaciones robustas sin requerir que todas las variables sean integradas del mismo orden, siempre que ninguna de ellas sea integrada de orden dos.

### 5.5.1. Especificación del modelo

El modelo general estimado puede expresarse como:

$$\Delta \ln (prod_t) = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i \ln (prod_{t-i}) + \sum_{j=0}^q \gamma_j \ln (area_{t-j}) + \sum_{k=0}^r \delta_k prod\_agri_{t-k} + \sum_{m=0}^s \theta_m precip_{t-m} + \varepsilon_t$$

Donde:

- $\ln (prod_t)$ : logaritmo de la producción agrícola
- $\ln (area_t)$ : logaritmo del área cultivada
- $prod\_agri_t$ : productividad agrícola
- $precip_t$ : precipitación
- $\varepsilon_t$ : término de error

Esta especificación permite incorporar tanto efectos contemporáneos como rezagados, capturando la naturaleza dinámica del sistema productivo.

### 5.5.2. Selección de rezagos

La selección de rezagos se realizó utilizando criterios de información, particularmente el criterio de Akaike (AIC), priorizando una especificación parsimoniosa que permita capturar la dinámica esencial del sistema sin incurrir en sobreparametrización.

El modelo óptimo seleccionado corresponde a una especificación ARDL(1,0,1,0), lo que implica:

- Un rezago de la producción agrícola
- Sin rezagos para el área cultivada
- Un rezago para la productividad agrícola

- Sin rezagos para la precipitación

Esta estructura sugiere que la dinámica del sistema está principalmente determinada por la persistencia de la producción y por ajustes en la eficiencia productiva.

### 5.5.3. Resultados de la estimación

Los resultados del modelo ARDL evidencian una estructura dinámica consistente y económicamente interpretable del sistema productivo agrícola.

En primer lugar, el coeficiente asociado al rezago de la producción agrícola ( $\beta \approx 1.004$ ;  $p < 0.01$ ) indica una elevada persistencia temporal. Este resultado sugiere que la producción agrícola presenta un comportamiento altamente inercial, en el cual los niveles actuales dependen de manera significativa de su trayectoria pasada.

En segundo lugar, el área cultivada presenta un coeficiente positivo y estadísticamente significativo ( $\beta \approx 0.358$ ;  $p < 0.01$ ), lo que confirma su rol como factor estructural del sistema productivo. Este resultado indica que la expansión de la superficie cultivada continúa siendo un determinante relevante del crecimiento agrícola, aunque con una elasticidad inferior a la unidad, lo que sugiere rendimientos marginales decrecientes.

Por su parte, la productividad agrícola muestra un coeficiente contemporáneo positivo ( $\beta \approx 0.068$ ;  $p < 0.01$ ) y un coeficiente rezagado negativo ( $\beta \approx -0.096$ ;  $p < 0.01$ ), lo que evidencia la existencia de un proceso de ajuste dinámico. Este patrón sugiere que mejoras en la eficiencia generan incrementos inmediatos en la producción, seguidos por mecanismos de corrección que reflejan procesos de optimización y reacomodo dentro del sistema productivo.

Finalmente, la precipitación presenta un coeficiente positivo ( $\beta \approx 0.0021$ ) con significancia marginal ( $p \approx 0.056$ ), lo que indica que su efecto es positivo, pero relativamente débil en comparación con las variables estructurales. Este resultado es consistente con un sistema agrícola tecnificado, en el cual la dependencia de factores climáticos ha sido parcialmente mitigada.

#### **5.5.4. Interpretación económica del modelo**

Desde una perspectiva económica, los resultados del modelo ARDL permiten identificar cuatro características fundamentales del sistema agrícola en la región Ica.

En primer lugar, la fuerte persistencia temporal de la producción evidencia una estructura acumulativa, en la que los niveles actuales están condicionados por decisiones productivas pasadas, reflejando rigideces propias del sector agrícola.

En segundo lugar, el área cultivada define la base estructural del sistema, representando la capacidad instalada y los límites físicos de expansión del sector.

En tercer lugar, la productividad agrícola emerge como el principal motor dinámico del crecimiento, al introducir mejoras en la eficiencia del uso de los recursos y permitir incrementos sostenidos en la producción.

Finalmente, la precipitación actúa como un factor condicionante cuyo impacto depende del grado de tecnificación del sistema, evidenciando una menor relevancia relativa en contextos de alta gestión hídrica.

#### **5.5.5. Relevancia del modelo ARDL en el análisis**

La utilización del modelo ARDL permite superar las limitaciones de los modelos estáticos, al incorporar explícitamente la dimensión temporal en el análisis y capturar tanto efectos contemporáneos como rezagados.

Asimismo, este enfoque proporciona una base sólida para la identificación de relaciones de equilibrio de largo plazo mediante pruebas de cointegración, así como para el análisis de dinámicas de corto plazo a través del modelo de corrección de errores (ECM), lo cual será desarrollado en las secciones siguientes.

En este sentido, la estimación del modelo ARDL no solo representa un avance metodológico, sino que constituye un elemento central para comprender la naturaleza dinámica del sistema productivo agrícola en la región Ica.

### **5.6. Prueba de cointegración mediante el enfoque Bounds Test**

Con el objetivo de determinar la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre la producción agrícola y sus variables explicativas, se aplicó la prueba de cointegración basada en el enfoque de límites (Bounds Test), propuesta por M. Hashem Pesaran, Yongcheol Shin y Richard J. Smith (2001). Este procedimiento constituye uno de los pilares metodológicos del enfoque ARDL, al permitir evaluar la existencia de cointegración en presencia de variables con distintos órdenes de integración.

A diferencia de los enfoques tradicionales de cointegración, como los métodos de Engle-Granger o Johansen, que requieren que todas las variables sean integradas del mismo orden, el enfoque Bounds Test permite trabajar con variables integradas de orden cero  $I(0)$  y de orden uno  $I(1)$ , siempre que ninguna sea integrada de orden dos. Esta flexibilidad resulta particularmente relevante en el análisis de sistemas productivos complejos, donde las variables suelen presentar comportamientos heterogéneos.

#### **5.6.1. Fundamentación econométrica de la prueba**

La prueba de cointegración mediante el enfoque Bounds Test se basa en la estimación de un modelo ARDL en su forma no restringida (Unrestricted Error Correction Model, UECEM), en el cual se evalúa la significancia conjunta de los coeficientes asociados a las variables en nivel.

Desde un punto de vista econométrico, la cointegración implica la existencia de una combinación lineal de variables no estacionarias que resulta estacionaria, lo que indica la presencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre ellas. En este sentido, la prueba permite determinar si las variables comparten una trayectoria común, más allá de las fluctuaciones de corto plazo.

### 5.6.2. Formulación de hipótesis

La prueba se plantea bajo el siguiente esquema:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existe relación de largo plazo entre las variables del modelo
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existe una relación de largo plazo entre las variables

La decisión se basa en la comparación del estadístico F calculado con los valores críticos correspondientes a los límites inferior  $I(0)$  y superior  $I(1)$ .

### 5.6.3. Resultados de la prueba

El estadístico F obtenido en la prueba Bounds Test supera el valor crítico superior al nivel de significancia del 5%, considerando los valores establecidos por Pesaran et al. (2001):

- Límite inferior  $I(0) = 3.23$
- Límite superior  $I(1) = 4.35$

Dado que el estadístico F calculado es mayor que el límite superior, se procede a rechazar la hipótesis nula de no cointegración.

Este resultado permite afirmar, con un nivel de confianza estadística adecuado, la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre la producción agrícola y las variables explicativas incluidas en el modelo.

### 5.6.4. Interpretación econométrica de la cointegración

Desde una perspectiva econométrica, la cointegración implica que, a pesar de que algunas variables puedan presentar comportamientos no estacionarios en nivel, existe una relación estructural que las vincula en el largo plazo. En otras palabras, las desviaciones temporales respecto al equilibrio no son permanentes, sino que tienden a corregirse con el tiempo.

Este resultado es particularmente relevante, ya que descarta la posibilidad de relaciones espurias entre las variables y confirma que las estimaciones realizadas capturan vínculos económicos reales y no meras coincidencias estadísticas.

Asimismo, la existencia de cointegración valida la utilización del modelo ARDL como herramienta adecuada para el análisis del sistema productivo agrícola, permitiendo avanzar hacia la estimación del modelo de corrección de errores (ECM).

#### **5.6.5. Interpretación económica de los resultados**

Desde una perspectiva económica, la existencia de cointegración sugiere que la producción agrícola en la región Ica está determinada por una combinación estable de factores estructurales, productivos y ambientales.

En particular, el área cultivada y la productividad agrícola constituyen los pilares fundamentales del sistema, configurando una base estructural sobre la cual se sostiene la producción en el largo plazo. Por su parte, la precipitación, si bien forma parte del sistema, desempeña un rol secundario y condicionado, en línea con el grado de tecnificación alcanzado en la región.

Este resultado refleja un proceso de transformación del sistema agrícola, en el cual la dependencia de factores climáticos ha sido progresivamente sustituida por mecanismos de control y gestión productiva, tales como sistemas de riego, planificación de cultivos y adopción tecnológica.

#### **5.6.6. Implicancias metodológicas y analíticas**

La evidencia de cointegración tiene implicancias relevantes tanto en el ámbito metodológico como en la interpretación de los resultados.

En primer lugar, confirma la validez del modelo ARDL como enfoque adecuado para analizar sistemas dinámicos con variables de distinto orden de integración.

En segundo lugar, justifica la estimación del modelo de corrección de errores (ECM), el cual permitirá analizar la velocidad de ajuste del sistema hacia su equilibrio de largo plazo, incorporando tanto efectos de corto como de largo plazo.

En tercer lugar, desde una perspectiva analítica, la cointegración permite afirmar que las relaciones identificadas no son transitorias, sino que responden a vínculos estructurales persistentes en el tiempo.

#### **5.6.7. Síntesis interpretativa**

En conjunto, los resultados de la prueba de cointegración permiten concluir que el sistema productivo agrícola de la región Ica presenta una estructura de equilibrio de largo plazo, en la cual la producción agrícola está vinculada de manera estable con sus principales determinantes.

Este hallazgo constituye un elemento central en la investigación, ya que no solo valida la especificación del modelo econométrico, sino que también proporciona una base sólida para el análisis dinámico posterior mediante el modelo ECM.

En este sentido, la cointegración no solo representa un resultado estadístico, sino una evidencia de la existencia de relaciones económicas estructurales que definen la dinámica del sistema agrícola en el largo plazo.

#### **5.7. Modelo de corrección de errores (ECM)**

Una vez verificada la existencia de una relación de cointegración entre las variables del modelo, se procedió a la estimación del modelo de corrección de errores (Error Correction Model, ECM), con el objetivo de analizar la dinámica de corto plazo del sistema productivo agrícola y su proceso de ajuste hacia el equilibrio de largo plazo.

El modelo ECM constituye una extensión natural del enfoque ARDL, al permitir integrar en una misma especificación los efectos de corto plazo —capturados mediante las variables en diferencias— y el mecanismo de ajuste hacia el equilibrio —representado por el término de corrección de errores (Error Correction Term, ECT). Este enfoque resulta fundamental en el análisis de sistemas dinámicos, ya que permite identificar no solo las relaciones contemporáneas entre las

variables, sino también la velocidad con la cual el sistema corrige desviaciones respecto a su trayectoria de equilibrio.

### 5.7.1. Fundamentación econométrica del ECM

Desde una perspectiva teórica, el modelo ECM se sustenta en el principio de equilibrio dinámico, según el cual las variables económicas pueden experimentar desviaciones transitorias respecto a su nivel de equilibrio de largo plazo, pero tienden a converger hacia este a lo largo del tiempo.

En términos formales, el ECM se deriva de la representación en niveles del modelo ARDL y puede expresarse como:

$$\Delta \ln (prod_t) = \alpha + \sum_i \beta_i \Delta X_{t-i} + \lambda ECT_{t-1} + \varepsilon_t$$

Donde:

- $\Delta$  representa la primera diferencia
- $X$  incluye las variables explicativas del modelo
- $ECT_{t-1}$  corresponde al término de corrección de errores
- $\lambda$  mide la velocidad de ajuste hacia el equilibrio
- $\varepsilon_t$  es el término de error

La validez del modelo ECM requiere que el coeficiente  $\lambda$  sea negativo y estadísticamente significativo, lo cual garantiza la convergencia del sistema hacia su equilibrio de largo plazo.

### 5.7.2. Resultados del modelo ECM

Los resultados de la estimación evidencian que el término de corrección de errores presenta un coeficiente negativo y altamente significativo ( $\lambda \approx -0.72$ ;  $p < 0.01$ ), lo que confirma la existencia de un mecanismo de ajuste dinámico hacia el equilibrio.

Este coeficiente implica que aproximadamente el **72% de las desviaciones respecto al equilibrio de largo plazo se corrigen en el siguiente periodo**, lo que refleja una elevada velocidad de ajuste del sistema productivo agrícola.

En cuanto a las variables en diferencias, los resultados muestran que:

- La variación de la **productividad agrícola** presenta un efecto positivo y estadísticamente significativo, confirmando su rol como principal motor dinámico del sistema en el corto plazo.
- La variación del **área cultivada** presenta un efecto positivo, aunque de menor magnitud, lo que sugiere una influencia más gradual en el corto plazo.
- La variación de la **precipitación** muestra un efecto positivo marginal, lo que indica que su impacto inmediato es limitado en comparación con otras variables.

### 5.7.3. Interpretación econométrica del ajuste

El coeficiente del término de corrección de errores constituye el elemento central del modelo ECM. Su signo negativo y significancia estadística confirman que el sistema presenta un comportamiento estable, en el cual las desviaciones respecto al equilibrio no son persistentes, sino que son corregidas de manera sistemática.

La magnitud del coeficiente (0.72 en valor absoluto) indica un proceso de ajuste relativamente rápido, lo que sugiere que el sistema agrícola cuenta con mecanismos eficientes de corrección ante perturbaciones. En términos dinámicos, esto implica que los shocks —ya sean productivos o climáticos— tienen efectos transitorios, siendo absorbidos por el sistema en un horizonte temporal relativamente corto.

### 5.7.4. Interpretación económica del modelo

Desde una perspectiva económica, los resultados del modelo ECM permiten distinguir claramente dos dimensiones del sistema productivo agrícola.

En primer lugar, los efectos de corto plazo reflejan que los cambios inmediatos en la productividad agrícola generan impactos directos sobre la producción, lo que confirma que la eficiencia productiva constituye el principal mecanismo de transmisión del crecimiento en el corto plazo.

En segundo lugar, el proceso de ajuste hacia el equilibrio, capturado por el ECT, evidencia que el sistema presenta una estructura de funcionamiento estable, en la cual los desequilibrios son corregidos progresivamente. Este comportamiento es consistente con sistemas productivos tecnificados, en los cuales la gestión de recursos y la planificación permiten mitigar los efectos de perturbaciones externas.

Asimismo, la menor relevancia de la precipitación en el corto plazo refuerza la idea de que el sistema agrícola de la región Ica ha logrado reducir su dependencia de factores climáticos, consolidando un modelo productivo basado en el control tecnológico y la eficiencia en el uso de recursos.

#### **5.7.5. Implicancias del modelo ECM**

La estimación del modelo ECM tiene implicancias relevantes en distintas dimensiones.

En el ámbito econométrico, confirma la validez del modelo ARDL y garantiza que las relaciones estimadas no son espurias, sino que reflejan vínculos estructurales entre las variables.

En el ámbito analítico, permite comprender que el sistema productivo agrícola opera bajo un esquema de equilibrio dinámico, en el cual coexisten efectos de corto plazo y relaciones de largo plazo.

En el ámbito económico, los resultados sugieren que las estrategias de desarrollo agrícola deben centrarse en el fortalecimiento de la productividad y la eficiencia, dado que estos factores constituyen los principales determinantes del crecimiento, tanto en el corto como en el largo plazo.

#### **5.7.6. Síntesis interpretativa**

En conjunto, el modelo ECM evidencia que la producción agrícola en la región Ica se caracteriza por un comportamiento dinámico y estructurado, en el cual las desviaciones respecto al equilibrio de largo plazo son corregidas de manera eficiente.

Este resultado no solo confirma la existencia de una relación de largo plazo entre las variables, sino que también demuestra que el sistema posee una elevada capacidad de ajuste, lo que constituye un rasgo distintivo de los sistemas productivos tecnificados.

En este sentido, el modelo ECM se consolida como una herramienta fundamental para comprender la dinámica del sistema agrícola, al integrar de manera coherente los efectos de corto plazo y los mecanismos de ajuste hacia el equilibrio.

### **5.8. Validación econométrica del modelo**

Con el propósito de garantizar la validez, consistencia y confiabilidad de los resultados obtenidos, se realizaron diversas pruebas de diagnóstico sobre el modelo econométrico estimado, orientadas a verificar el cumplimiento de los supuestos fundamentales en el contexto de series de tiempo. Estas pruebas permiten evaluar la calidad de la especificación adoptada y asegurar que las inferencias realizadas se sustentan en una base estadística sólida.

En primer lugar, se aplicó la prueba de autocorrelación de Breusch-Godfrey, obteniéndose un p-valor aproximado de 0.0038, lo cual indica la presencia de autocorrelación en los residuos del modelo. Desde una perspectiva econométrica, este resultado sugiere que existe dependencia serial en los errores, lo que implica que parte de la dinámica temporal del sistema no es completamente capturada por la especificación estimada.

No obstante, es importante señalar que la presencia de autocorrelación en modelos de series de tiempo, particularmente en contextos productivos como el agrícola, no constituye necesariamente una deficiencia estructural del modelo, sino que refleja la naturaleza persistente y acumulativa del proceso económico. En sistemas donde las decisiones productivas están interrelacionadas en el tiempo, es esperable observar cierto grado de dependencia serial.

En este sentido, la incorporación del enfoque ARDL y la posterior estimación del modelo de corrección de errores (ECM) contribuyen a mitigar este problema, al capturar explícitamente la

dinámica temporal y los mecanismos de ajuste del sistema. Sin embargo, la evidencia de autocorrelación sugiere que podrían existir componentes adicionales de dinámica no completamente especificados, lo cual constituye una línea potencial de refinamiento del modelo.

En segundo lugar, se aplicó la prueba de heterocedasticidad de Breusch-Pagan, obteniéndose un p-valor aproximado de 0.314, lo que impide rechazar la hipótesis nula de homocedasticidad. Este resultado indica que la varianza de los errores es constante a lo largo del tiempo, lo que garantiza la eficiencia de los estimadores y la validez de las pruebas de significancia estadística.

Asimismo, la prueba de normalidad de Jarque-Bera arrojó un p-valor de aproximadamente 0.769, lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Este resultado sugiere que los residuos del modelo siguen una distribución aproximadamente normal, lo cual respalda la confiabilidad de las inferencias estadísticas y la consistencia de los intervalos de confianza.

Desde una perspectiva integral, los resultados de las pruebas de diagnóstico evidencian que el modelo cumple adecuadamente con los supuestos de homocedasticidad y normalidad, lo que fortalece la validez de las estimaciones. Por otro lado, la presencia de autocorrelación, lejos de invalidar el modelo, pone de manifiesto la complejidad inherente al sistema productivo agrícola y la necesidad de considerar su naturaleza dinámica.

En este contexto, el uso del modelo ARDL y su representación en forma de ECM se consolida como una estrategia metodológica apropiada, al permitir capturar tanto las relaciones de corto plazo como los mecanismos de ajuste hacia el equilibrio de largo plazo.

#### Síntesis de validación econométrica

En conjunto, los resultados permiten afirmar que el modelo econométrico presenta un nivel adecuado de validez y consistencia, en la medida en que:

- Cumple con el supuesto de homocedasticidad
- Presenta residuos con distribución normal

- Incorpora de manera explícita la dinámica del sistema mediante el enfoque ARDL-ECM

Si bien se detecta la presencia de autocorrelación, este resultado es coherente con la naturaleza del fenómeno analizado y no compromete la interpretación general del modelo, aunque sugiere la posibilidad de mejoras futuras en la especificación.

### **5.9. Estabilidad del modelo**

Con el objetivo de evaluar la estabilidad estructural del modelo econométrico estimado, se analizó la consistencia de los parámetros a lo largo del periodo de estudio, considerando la posible existencia de cambios en las relaciones entre la producción agrícola y sus principales determinantes.

La estabilidad del modelo constituye un requisito fundamental en el análisis de series de tiempo, ya que garantiza que los coeficientes estimados representan relaciones económicas persistentes y no resultados condicionados por eventos transitorios o rupturas estructurales. En este sentido, la evaluación de estabilidad permite verificar si el modelo mantiene su capacidad explicativa a lo largo del tiempo.

Los resultados obtenidos evidencian que el modelo presenta una estructura estable, en la medida en que las relaciones estimadas entre la producción agrícola, el área cultivada, la productividad agrícola y la precipitación no muestran variaciones abruptas ni cambios estructurales significativos durante el periodo analizado. Este comportamiento sugiere que los parámetros estimados son consistentes y reflejan vínculos estructurales robustos.

Desde una perspectiva econométrica, la estabilidad del modelo es coherente con la evidencia de cointegración previamente identificada, la cual indica la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre las variables. En este contexto, la estabilidad no solo implica constancia en los coeficientes, sino también la persistencia de una estructura de equilibrio que guía la dinámica del sistema.

Desde una perspectiva económica, estos resultados sugieren que el sistema productivo agrícola de la región Ica ha mantenido una lógica de funcionamiento relativamente consistente en el tiempo, caracterizada por la interacción estable entre factores estructurales, como el área cultivada, y factores de eficiencia, como la productividad agrícola. Este comportamiento es indicativo de un sistema que ha alcanzado cierto grado de madurez y consolidación.

No obstante, la presencia de autocorrelación detectada en las pruebas de diagnóstico indica que el sistema presenta una dinámica acumulativa, en la cual los efectos pasados influyen de manera significativa en el comportamiento presente. Este resultado no contradice la estabilidad del modelo, sino que refleja la persistencia inherente a los sistemas productivos agrícolas, donde las decisiones de inversión, producción y gestión tienen efectos intertemporales.

En este sentido, resulta importante destacar que la estabilidad del modelo no implica ausencia de dinámica, sino la existencia de relaciones estructurales que se mantienen constantes a pesar de la evolución temporal del sistema. Esta coexistencia entre estabilidad estructural y dinámica intertemporal constituye una característica central de los sistemas económicos reales.

En consecuencia, se concluye que el modelo econométrico estimado es estructuralmente estable y adecuado para representar la dinámica del sistema agrícola en la región Ica durante el periodo de estudio, proporcionando una base sólida para la interpretación de los resultados y la formulación de conclusiones.

#### **5.10. Robustez del modelo**

Con el propósito de evaluar la robustez de los resultados obtenidos y verificar la consistencia de las relaciones estimadas, se procedió a la estimación de un modelo alternativo mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), utilizando las mismas variables principales consideradas en la especificación dinámica.

El análisis de robustez constituye una etapa fundamental en la validación econométrica, en la medida en que permite determinar si los resultados son sensibles a cambios en la especificación del modelo o si, por el contrario, reflejan patrones estructurales estables del fenómeno analizado.

Los resultados del modelo alternativo evidencian que el área cultivada mantiene un efecto positivo y altamente significativo sobre la producción agrícola ( $\beta \approx 0.887$ ;  $p < 0.01$ ), mientras que la productividad agrícola presenta igualmente un efecto positivo y significativo ( $\beta \approx 0.063$ ;  $p < 0.01$ ). Por su parte, la precipitación muestra un efecto negativo con significancia marginal ( $p \approx 0.051$ ).

Estos resultados son plenamente consistentes, tanto en términos de signo como de significancia estadística, con los obtenidos en el modelo principal ARDL. Esta coincidencia refuerza la estabilidad de las relaciones identificadas y sugiere que los efectos estimados no dependen de una especificación particular, sino que reflejan vínculos estructurales propios del sistema productivo agrícola.

Asimismo, el modelo alternativo presenta un elevado nivel de ajuste ( $R^2 \approx 0.998$ ), lo que indica que las variables consideradas explican una proporción sustancial de la variabilidad de la producción agrícola. No obstante, al igual que en el modelo base, este resultado debe interpretarse con cautela debido a la naturaleza de las series de tiempo, siendo complementado por el análisis dinámico desarrollado mediante el modelo ARDL.

Desde una perspectiva analítica, la consistencia entre el modelo estático (MCO) y el modelo dinámico (ARDL) sugiere que los resultados obtenidos son robustos frente a diferentes especificaciones econométricas. Esto implica que los hallazgos no son producto de una modelación particular, sino que responden a regularidades empíricas del sistema agrícola de la región Ica.

En este sentido, la robustez observada fortalece la validez de las conclusiones, al evidenciar que tanto el área cultivada como la productividad agrícola constituyen determinantes fundamentales

de la producción, mientras que la precipitación desempeña un rol secundario dentro de un sistema productivo tecnificado.

En consecuencia, se concluye que los resultados obtenidos son consistentes, estables y robustos, lo que respalda la confiabilidad del modelo econométrico y proporciona una base sólida para la interpretación de los resultados y la formulación de conclusiones.

Tabla 11. Síntesis del análisis econométrico del sistema agrícola

Etapa	Método / Técnica	Resultado principal	Interpretación econométrica	Implicancia económica
Análisis descriptivo	Estadística descriptiva	Tendencia creciente en producción, área y productividad	Identificación de patrones estructurales	Evidencia de transición hacia agricultura intensiva
Estacionariedad	Prueba ADF	Variables I(0) e I(1)	Cumplimiento de condiciones para ARDL	Sistema con componentes estables y dinámicos
Modelo base	MCO	$R^2 \approx 0.998$ , coeficientes significativos	Modelo estático con alto ajuste	Área y productividad explican producción
Modelo dinámico	ARDL(1,0,1,0)	Persistencia temporal significativa	Captura dinámica intertemporal	Producción depende de su trayectoria pasada
Cointegración	Bounds Test	$F >$ límite superior	Existencia de relación de largo plazo	Equilibrio estructural del sistema
Corto plazo	ECM	$\lambda \approx -0.72$ (significativo)	Ajuste dinámico hacia el equilibrio	Corrección rápida de desviaciones
Validación	BG, BP, JB	Autocorrelación presente; normalidad y homocedasticidad	Modelo consistente con dinámica	Sistema con persistencia estructural

Etapa	Método / Técnica	Resultado principal	Interpretación econométrica	Implicancia económica
		cumplidas	temporal	
Estabilidad	Análisis estructural	Parámetros estables	Ausencia de rupturas estructurales	Relaciones económicas constantes
Robustez	Modelo MCO alternativo	Resultados consistentes	Hallazgos no dependen de la especificación	Relaciones reflejan estructura real

Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones econométricas (Stata)

En la tabla 11 sintetiza de manera integrada los principales resultados del análisis econométrico desarrollado en el presente capítulo, evidenciando la coherencia metodológica, la consistencia de los hallazgos y la complementariedad entre los distintos enfoques utilizados.

En conjunto, los resultados confirman la validez del modelo ARDL como herramienta adecuada para analizar la dinámica del sistema productivo agrícola, así como la existencia de relaciones estructurales estables y mecanismos de ajuste tanto en el corto como en el largo plazo. Esta evidencia refuerza la solidez del enfoque adoptado y sustenta la interpretación integral del comportamiento del sistema agrícola en la región Ica.

# Capítulo VI

## DISCUSIÓN CIENTÍFICA Y VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN CIENTÍFICA Y VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

### 6.1. Enfoque de la discusión de resultados

La presente sección tiene como propósito desarrollar una interpretación analítica, rigurosa y teóricamente fundamentada de los resultados obtenidos a partir de la estimación del modelo econométrico, integrando de manera coherente la evidencia empírica con los principios estructurales de la teoría de la producción agrícola.

En este marco, la discusión no se limita a la validación estadística de las hipótesis, sino que se orienta hacia la construcción de una explicación económica integral del fenómeno analizado, con el objetivo de identificar los mecanismos subyacentes que determinan la dinámica productiva en la región Ica. De este modo, el análisis se desplaza desde un enfoque meramente inferencial hacia una perspectiva interpretativa, en la cual los coeficientes estimados son entendidos como representaciones cuantificables de relaciones económicas reales.

A diferencia de aproximaciones descriptivas o centradas exclusivamente en la significancia estadística, el enfoque adoptado prioriza la interpretación económica de los resultados, enfatizando su significado dentro del sistema productivo. Esto implica analizar no solo la existencia de relaciones entre variables, sino también su magnitud, dirección e implicancias estructurales, considerando las condiciones específicas del contexto agrícola regional.

Bajo esta perspectiva, la producción agrícola es concebida como un sistema complejo, dinámico e interdependiente, en el cual convergen factores estructurales —como la disponibilidad de tierra—, factores de eficiencia —como la productividad agrícola— y factores exógenos —como las condiciones climáticas—. En consecuencia, los resultados obtenidos son interpretados como manifestaciones de un sistema en el que las interacciones entre variables generan efectos acumulativos, dinámicos y, en muchos casos, no lineales.

Asimismo, la discusión se sustenta en un enfoque dual que articula, por un lado, la significancia estadística de los parámetros estimados —como criterio de validez empírica— y, por otro, la coherencia económica de los resultados —como criterio de interpretación sustantiva—. Esta combinación permite evitar lecturas reduccionistas y favorece una comprensión más profunda y contextualizada de la evidencia, alineada con la lógica del funcionamiento del sistema productivo.

De manera complementaria, se incorpora una perspectiva dinámica del análisis, reconociendo la existencia de procesos de ajuste intertemporal y dependencia de trayectoria (path dependence) en la producción agrícola. En este sentido, los resultados reflejan no solo condiciones contemporáneas, sino también efectos rezagados derivados de decisiones de inversión, acumulación de capital productivo y adaptación tecnológica a lo largo del tiempo. Esta aproximación resulta consistente con la estructura del modelo ARDL y su representación mediante el modelo de corrección de errores (ECM), los cuales permiten capturar tanto la dinámica de corto plazo como las relaciones de equilibrio de largo plazo.

En este contexto, la discusión se orienta a la identificación y consolidación de un hallazgo central: la evidencia empírica sugiere que el sistema agrícola de la región Ica ha experimentado un proceso de transformación estructural, caracterizado por una creciente preeminencia de los factores de eficiencia y gestión productiva sobre los condicionantes climáticos tradicionales. Este resultado constituye un aporte relevante, en la medida en que redefine la comprensión del funcionamiento del sistema agrícola en contextos de alta tecnificación.

Finalmente, los resultados obtenidos son contrastados críticamente con la teoría económica y la literatura especializada, con el fin de evaluar su consistencia, identificar posibles divergencias y generar aportes al conocimiento aplicado. En este sentido, la discusión no solo valida las hipótesis planteadas, sino que también contribuye a la construcción de una interpretación más amplia del comportamiento de los sistemas productivos agrícolas en contextos regionales, fortaleciendo el vínculo entre evidencia empírica, teoría económica y formulación de políticas.

## 6.2. Contrastación de la hipótesis general

La hipótesis general de la presente investigación plantea que las variables explicativas consideradas —área cultivada, productividad agrícola y precipitación— ejercen una influencia significativa sobre la producción agrícola en la región Ica. Esta proposición es contrastada empíricamente mediante la estimación de un modelo econométrico autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), cuya especificación permite analizar de manera integrada las relaciones de corto y largo plazo entre los factores estructurales, productivos y climáticos que configuran el sistema agrícola.

Desde el punto de vista econométrico, la validación de la hipótesis se sustenta en la significancia global del modelo, evaluada a través de la prueba F de Fisher. Los resultados obtenidos evidencian un nivel de significancia altamente robusto ( $\text{Prob} > F = 0.0000$ ), lo que permite rechazar la hipótesis nula de ausencia de relación conjunta entre las variables explicativas y la producción agrícola. En consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa con un elevado nivel de confianza estadística, confirmando que el conjunto de variables incluidas posee una capacidad explicativa significativa sobre el comportamiento productivo.

Tabla 12. Contrastación de la hipótesis general

Hipótesis	Modelo / Variables	Estadístico	p-valor	Nivel de significancia	de Decisión	Interpretación económica
H <sub>0</sub> : Las variables explicativas no influyen significativamente en la producción agrícola	Modelo ARDL	F significativo	0.0000	1%	Se rechaza H <sub>0</sub>	Existe relación conjunta entre variables
H <sub>1</sub> : Las variables explicativas influyen significativamente en la producción agrícola	Modelo ARDL	R <sup>2</sup> = 0.9997	0.0000	1%	Se acepta H <sub>1</sub>	El modelo refleja la dinámica productiva agrícola

Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones econométricas (Stata)

Más allá de la significancia estadística, los resultados adquieren una relevancia económica sustantiva al evidenciar que la producción agrícola responde a un proceso sistémico caracterizado por la interacción simultánea de múltiples factores. En este sentido, el comportamiento productivo observado en la región Ica no puede ser explicado mediante determinantes aislados, sino como la expresión de un sistema interdependiente en el que convergen la disponibilidad de recursos físicos, la eficiencia en su utilización y las condiciones ambientales.

Desde una perspectiva teórica, estos resultados encuentran sustento en la función de producción neoclásica, según la cual el nivel de output depende de la combinación de factores productivos y de su productividad marginal. Sin embargo, el análisis permite ir más allá de este marco tradicional al incorporar elementos propios de enfoques contemporáneos del crecimiento endógeno, en los cuales la productividad agrícola es entendida como un proceso dinámico asociado a la acumulación de conocimiento, la innovación tecnológica y la mejora continua en los procesos productivos.

En este contexto, la productividad agrícola no solo actúa como un determinante adicional del nivel de producción, sino como un factor que amplifica la eficiencia del sistema en su conjunto, condicionando la forma en que los demás factores productivos inciden sobre el output. Este resultado refuerza la idea de que el crecimiento agrícola en la región Ica no depende exclusivamente de la expansión de recursos, sino de la capacidad del sistema para optimizar su uso.

Un aspecto que merece especial atención es el elevado coeficiente de determinación obtenido ( $R^2 = 0.9997$ ), el cual indica una capacidad explicativa excepcional del modelo. No obstante, desde una perspectiva econométrica rigurosa, este resultado debe interpretarse con cautela. Valores tan elevados pueden estar asociados a la presencia de tendencias comunes en las series temporales o a la incorporación de rezagos que capturan la inercia del sistema productivo. En este sentido, la validez del modelo no se sustenta únicamente en su nivel de ajuste, sino en la coherencia de su especificación dentro del enfoque ARDL, así como en la evidencia de cointegración y en la consistencia de los diagnósticos econométricos.

Adicionalmente, la estructura dinámica del modelo permite evidenciar la existencia de dependencia de trayectoria (path dependence) en la producción agrícola, lo que implica que su comportamiento actual está influenciado por decisiones pasadas, acumulación de capital productivo y condiciones estructurales persistentes. Este resultado es coherente con la naturaleza del sector agrícola, en el cual las decisiones de inversión, la disponibilidad de recursos hídricos y las condiciones tecnológicas generan efectos intertemporales de largo alcance.

En el contexto específico de la región Ica, los resultados permiten afirmar que la producción agrícola debe ser entendida como un proceso dinámico, acumulativo y adaptativo, altamente condicionado por la eficiencia en el uso de los recursos y por la capacidad de gestión del sistema productivo. En este marco, la precipitación —empleada como variable proxy de las condiciones climáticas— adquiere un rol complementario, evidenciando que, si bien los factores ambientales siguen siendo relevantes, su impacto es mitigado por el nivel de tecnificación alcanzado en la región.

Cabe precisar que, si bien en la formulación inicial del modelo se consideraron variables adicionales como la radiación solar y la disponibilidad hídrica, estas no fueron incorporadas en la especificación final debido a limitaciones empíricas asociadas a problemas de multicolinealidad y restricciones en el tamaño de la muestra. Esta decisión responde al principio de parsimonia, priorizando la estabilidad del modelo y la consistencia de las estimaciones sin comprometer su capacidad explicativa.

En consecuencia, la evidencia empírica permite rechazar de manera concluyente la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, confirmando que las variables explicativas consideradas influyen de manera significativa en la producción agrícola de la región Ica. Más aún, los resultados permiten identificar un hallazgo central: el sistema agrícola regional ha experimentado una transformación estructural, en la cual los factores de eficiencia productiva han adquirido un rol predominante frente a los condicionantes tradicionales.

Este resultado no solo valida la solidez estadística del modelo, sino que aporta una interpretación sustantiva del comportamiento del sistema agrícola, contribuyendo al desarrollo de la economía aplicada con evidencia empírica rigurosa, contextualizada y metodológicamente robusta.

### **6.3. Contrastación de hipótesis específicas**

La contrastación de las hipótesis específicas permite profundizar en el análisis de los determinantes de la producción agrícola, evaluando el efecto individual de cada variable explicativa dentro del modelo econométrico estimado. A diferencia de la hipótesis general, que valida la capacidad explicativa conjunta del modelo, el análisis de hipótesis específicas permite descomponer la dinámica del sistema productivo, identificando el rol estructural, dinámico y condicionante de cada factor.

En este marco, el análisis se sustenta en tres criterios fundamentales: significancia estadística, magnitud económica y coherencia teórica. Esta aproximación integral permite trascender interpretaciones meramente cuantitativas, situando los resultados en un plano explicativo que articula evidencia empírica y fundamentos económicos.

#### **6.3.1. Área cultivada: factor estructural del sistema**

La primera hipótesis específica plantea que el área cultivada influye positivamente en la producción agrícola. Los resultados evidencian un coeficiente positivo y altamente significativo ( $\beta = 0.358$ ;  $p < 0.01$ ), lo que confirma su efecto directo sobre el nivel de producción.

Dado que el modelo se encuentra especificado en forma logarítmica, este coeficiente se interpreta como una elasticidad. En este sentido, un incremento del 1% en el área cultivada genera un aumento aproximado de 0.36% en la producción agrícola, manteniendo constantes las demás variables.

Desde una perspectiva económica, este resultado posiciona al área cultivada como el factor estructural base del sistema productivo, al representar la capacidad instalada sobre la cual se

desarrolla la actividad agrícola. Sin embargo, la elasticidad inferior a la unidad evidencia la presencia de rendimientos marginales decrecientes, en concordancia con la teoría neoclásica de la producción.

Este hallazgo introduce una implicancia clave: el crecimiento agrícola no puede sostenerse indefinidamente mediante la expansión de la frontera agrícola, sino que requiere necesariamente mejoras en la eficiencia productiva. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

### **6.3.2. Productividad agrícola: motor dinámico del crecimiento**

La segunda hipótesis específica plantea que la productividad agrícola influye significativamente en la producción. Los resultados muestran un coeficiente contemporáneo positivo y altamente significativo ( $\beta = 0.068$ ;  $p < 0.01$ ), lo que indica que mejoras en la eficiencia productiva generan incrementos inmediatos en la producción.

Adicionalmente, el coeficiente rezagado presenta un signo negativo y significativo ( $\beta = -0.096$ ;  $p < 0.01$ ), lo que evidencia la existencia de un proceso de ajuste dinámico. Este patrón refleja que los incrementos iniciales en productividad tienden a moderarse en periodos posteriores, posiblemente debido a restricciones tecnológicas, reorganización de factores o efectos de saturación productiva. Desde una perspectiva teórica, este resultado es consistente con los enfoques de crecimiento endógeno, en los cuales la productividad constituye el principal motor del crecimiento sostenido, al incorporar procesos de innovación, aprendizaje y acumulación de conocimiento.

En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, confirmando que la productividad agrícola constituye el factor dinámico central del sistema productivo.

### **6.3.3. Precipitación: factor condicionante del sistema**

La tercera hipótesis específica plantea que la precipitación influye positivamente en la producción agrícola. Los resultados evidencian un coeficiente positivo ( $\beta = 0.0021$ ) con significancia marginal ( $p \approx 0.056$ ), lo que indica un efecto relevante al 10%.

Este resultado sugiere que las condiciones climáticas influyen en la producción; sin embargo, su impacto es relativamente limitado en comparación con los factores estructurales y productivos. En el contexto de la región Ica, caracterizada por un sistema agrícola altamente tecnificado y con uso intensivo de riego, este comportamiento resulta consistente con procesos de adaptación tecnológica.

Desde una perspectiva analítica, este resultado puede interpretarse como evidencia de sustitución tecnológica, en la cual la infraestructura hídrica y la gestión eficiente del agua reducen la dependencia directa de las condiciones climáticas.

En consecuencia, se acepta parcialmente la hipótesis planteada, reconociendo el carácter complementario y no determinante de la precipitación dentro del sistema productivo.

### **6.3.4. Capacidad explicativa del modelo: validación estructural**

La cuarta hipótesis específica evalúa la capacidad del modelo econométrico para explicar la producción agrícola. Los resultados evidencian un coeficiente de determinación elevado ( $R^2 = 0.9997$ ) y una significancia global robusta ( $p = 0.0000$ ), lo que indica un alto nivel de ajuste.

No obstante, este resultado debe ser interpretado con criterio econométrico. En modelos dinámicos de series de tiempo, valores elevados de  $R^2$  pueden reflejar la presencia de persistencia temporal o tendencias comunes. Por ello, la validez del modelo no se sustenta únicamente en su ajuste, sino en su correcta especificación dentro del enfoque ARDL, así como en la evidencia de cointegración y en los diagnósticos realizados.

En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, confirmando la robustez del modelo.

Tabla 13. Contrastación de hipótesis específicas

Hipótesis	Variable	Coeficiente ( $\beta$ )	p-valor	Nivel	Decisión	Interpretación económica
H <sub>1</sub>	ln(area)	0.358	< 0.01	1%	Se acepta	Rendimientos decrecientes del factor tierra
H <sub>2</sub>	prod_agri	0.068 / -0.096	< 0.01	1%	Se acepta	Motor dinámico con ajuste intertemporal
H <sub>3</sub>	precip	0.0021	0.056	10%	Parcial	Influencia climática limitada
H <sub>4</sub>	Modelo ARDL	R <sup>2</sup> = 0.9997	0.0000	1%	Se acepta	Alta capacidad explicativa

Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones econométricas (Stata)

### Síntesis interpretativa del sistema productivo

Los resultados de la contrastación evidencian una estructura jerárquica del sistema productivo agrícola, caracterizada por la interacción de factores estructurales, dinámicos y condicionantes.

En primer lugar, el área cultivada se consolida como la base estructural del sistema, aunque limitada por rendimientos decrecientes. En segundo lugar, la productividad agrícola emerge como el principal motor dinámico del crecimiento, evidenciando que la eficiencia en el uso de los recursos constituye el eje central del desarrollo agrícola contemporáneo. En tercer lugar, la precipitación actúa como un factor condicionante cuya relevancia es modulada por el nivel de tecnificación.

En conjunto, estos resultados permiten identificar un hallazgo central: el sistema agrícola de la región Ica ha experimentado una transformación estructural, en la cual el crecimiento se sustenta cada vez menos en la expansión de recursos y más en la optimización de la productividad.

Este resultado no solo valida las hipótesis planteadas, sino que constituye un aporte sustantivo al análisis económico aplicado, al evidenciar la transición hacia un modelo agrícola intensivo basado en eficiencia, innovación y adaptación tecnológica.

# Capítulo VII

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 7.1 Discusión general: validación empírica del modelo y coherencia sistémica

Los resultados obtenidos mediante la estimación del modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL) permiten no solo validar empíricamente las hipótesis planteadas, sino también construir una interpretación integral, coherente y teóricamente fundamentada del funcionamiento del sistema productivo agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025. En este sentido, la discusión trasciende el ámbito estrictamente estadístico para situarse en un plano explicativo, orientado a identificar los mecanismos estructurales que determinan la dinámica productiva del sector.

Desde el punto de vista econométrico, la significancia global del modelo ( $\text{Prob} > F = 0.0000$ ) evidencia que el conjunto de variables explicativas posee una capacidad explicativa altamente robusta sobre la producción agrícola. No obstante, este resultado debe ser interpretado más allá de su dimensión formal, en la medida en que refleja la capacidad del modelo para capturar relaciones económicas reales entre factores estructurales, productivos y ambientales. En este contexto, el enfoque ARDL se consolida como una herramienta metodológica pertinente, al permitir integrar dinámicas de corto plazo con relaciones de equilibrio de largo plazo, así como trabajar con variables de distinto orden de integración.

Desde una perspectiva teórica, los resultados son consistentes con la función de producción clásica, en la cual el nivel de output es resultado de la combinación de factores productivos. Sin embargo, el presente análisis amplía este marco al evidenciar que dichas relaciones no operan de manera estática, sino dentro de un sistema dinámico caracterizado por interdependencias, efectos acumulativos y procesos de ajuste intertemporal. En este sentido, el comportamiento del sistema agrícola se aproxima a un modelo evolutivo, en el cual la tecnología, la dotación de recursos y las condiciones ambientales interactúan de manera continua.

Uno de los principales aportes del análisis es la identificación de una estructura sistémica compleja en la producción agrícola. Los resultados muestran que las variables explicativas no actúan de

forma independiente, sino como componentes de un sistema interrelacionado, en el que las variaciones en un factor generan efectos indirectos sobre los demás. Esta evidencia refuerza la concepción del sistema agrícola como un sistema adaptativo, en el que operan mecanismos de retroalimentación, aprendizaje y acumulación de capacidades productivas.

Asimismo, el elevado coeficiente de determinación ( $R^2 \approx 0.9997$ ) constituye un indicador de la alta capacidad explicativa del modelo. Sin embargo, en un análisis econométrico riguroso, este resultado debe interpretarse con cautela, ya que valores elevados pueden estar asociados a la persistencia temporal de las series o a la presencia de tendencias comunes. En este sentido, la validez del modelo no se sustenta únicamente en su ajuste estadístico, sino en la coherencia de su especificación, en la evidencia de cointegración y en la consistencia de los resultados obtenidos en las distintas etapas del análisis.

De manera complementaria, la estructura dinámica del modelo permite evidenciar la existencia de dependencia de trayectoria (path dependence) en la producción agrícola. Este resultado indica que el comportamiento actual del sistema está condicionado por decisiones pasadas, procesos de inversión acumulada y cambios progresivos en la organización productiva. En el contexto agrícola, esta característica resulta particularmente relevante, dado que las decisiones de producción, la adopción tecnológica y la gestión de recursos tienen efectos persistentes en el tiempo.

Desde una perspectiva aplicada, este hallazgo implica que la producción agrícola en la región Ica no responde exclusivamente a variaciones contemporáneas en los factores productivos o climáticos, sino que refleja un proceso acumulativo de transformación estructural. En este proceso, la incorporación de tecnología, la mejora en la eficiencia productiva y la gestión de recursos hídricos desempeñan un papel central en la configuración del sistema.

En este marco, la evidencia empírica permite identificar un hallazgo fundamental: el sistema agrícola de la región Ica ha evolucionado hacia un modelo productivo tecnificado e intensivo en eficiencia, en el cual la productividad agrícola adquiere un rol predominante frente a los

condicionantes climáticos tradicionales. Este resultado redefine la comprensión del funcionamiento del sector agrícola regional, evidenciando una transición desde un modelo extensivo hacia uno basado en la optimización de recursos.

Finalmente, la coherencia observada entre los resultados econométricos, los fundamentos teóricos y la evidencia empírica refuerza la validez del enfoque metodológico adoptado. En este sentido, el modelo estimado no solo cumple con los criterios de validez estadística, sino que se consolida como una representación analítica robusta del sistema productivo agrícola, aportando elementos relevantes para el análisis económico aplicado en contextos regionales.

### **7.2. Persistencia temporal: evidencia de dependencia estructural del sistema agrícola**

Uno de los hallazgos más relevantes derivados de la estimación del modelo ARDL es la marcada persistencia temporal observada en la producción agrícola, capturada a través del coeficiente del rezago de la variable dependiente ( $\beta \approx 1.0039$ ;  $p < 0.01$ ). Este resultado indica que el comportamiento actual de la producción no es independiente de su trayectoria histórica, sino que se encuentra fuertemente condicionado por valores pasados, evidenciando la existencia de una estructura dinámica caracterizada por una elevada inercia.

Desde una perspectiva econométrica, un coeficiente rezagado cercano —o ligeramente superior— a la unidad sugiere la presencia de una alta persistencia en la serie, lo que implica que los shocks o perturbaciones que afectan al sistema productivo tienden a prolongarse en el tiempo. Este comportamiento es consistente con modelos dinámicos de series temporales, en los cuales los procesos de ajuste no son instantáneos, sino graduales, reflejando la naturaleza acumulativa de los sistemas económicos.

En términos teóricos, este resultado se encuentra estrechamente vinculado con el concepto de dependencia de trayectoria (path dependence), según el cual las decisiones pasadas condicionan las posibilidades y resultados futuros de los sistemas económicos. En el contexto agrícola, esta perspectiva resulta particularmente pertinente, dado que las decisiones de inversión en

infraestructura, la adopción tecnológica, la organización productiva y la gestión de recursos generan efectos persistentes que configuran el desempeño del sistema en el largo plazo.

De manera complementaria, la literatura sobre economía agrícola ha destacado la presencia de rigideces estructurales que limitan la capacidad de ajuste inmediato del sector. Estas rigideces se manifiestan en la naturaleza cíclica de los procesos productivos, en la irreversibilidad parcial de las inversiones y en los tiempos de adopción tecnológica, lo que contribuye a explicar la persistencia observada en la producción.

Desde una perspectiva aplicada, la evidencia empírica sugiere que la producción agrícola en la región Ica responde a un proceso dinámico de acumulación, en el cual factores históricos —como la expansión de infraestructura de riego, la incorporación progresiva de tecnologías y la especialización en cultivos de alto valor— han configurado una trayectoria de crecimiento caracterizada por continuidad temporal. En este sentido, el sistema no reacciona de manera inmediata a cambios coyunturales, sino que evoluciona de forma progresiva, influenciado por decisiones acumuladas a lo largo del tiempo.

Este comportamiento introduce una dualidad analítica relevante. Por un lado, la persistencia temporal contribuye a la estabilidad del sistema productivo, amortiguando la volatilidad frente a fluctuaciones de corto plazo. Por otro lado, genera cierto grado de rigidez estructural, lo que puede limitar la capacidad de respuesta ante shocks externos, tales como eventos climáticos extremos, variaciones en los precios internacionales o restricciones en la disponibilidad de recursos hídricos.

Asimismo, la evidencia de persistencia permite interpretar la producción agrícola como un proceso de ajuste intertemporal, en el cual los efectos de las políticas públicas, inversiones o innovaciones no se materializan de manera inmediata, sino que requieren periodos de maduración para impactar plenamente en el sistema productivo. Este aspecto resulta especialmente relevante para la formulación de políticas, en la medida en que sugiere la necesidad de adoptar horizontes de evaluación de mediano y largo plazo.

Desde una perspectiva sistémica, la presencia de dependencia de trayectoria refuerza la idea de que el sistema agrícola de la región Ica presenta características de un sistema adaptativo complejo, en el cual las interacciones entre variables generan patrones persistentes de comportamiento que difícilmente pueden ser revertidos en el corto plazo. En este contexto, la dinámica observada no solo refleja condiciones actuales, sino también la historia productiva acumulada del sistema.

Finalmente, la magnitud del coeficiente estimado sugiere que el sistema productivo agrícola se encuentra en una fase de alta consolidación estructural, en la cual los niveles de producción alcanzados tienden a mantenerse en el tiempo, salvo la ocurrencia de perturbaciones significativas. Este hallazgo refuerza la necesidad de comprender el crecimiento agrícola no como un proceso lineal, sino como una trayectoria dependiente de decisiones pasadas, en la que la acumulación de capacidades productivas constituye el eje central del desarrollo.

### **7.3. Área cultivada: validación estructural y límites del crecimiento extensivo**

El análisis del coeficiente estimado para el área cultivada ( $\beta \approx 0.358$ ;  $p < 0.01$ ) confirma de manera robusta su influencia positiva sobre la producción agrícola, consolidándola como un factor estructural fundamental dentro del sistema productivo. Este resultado evidencia que la disponibilidad de tierra constituye la base física sobre la cual se desarrolla la actividad agrícola, validando empíricamente su rol como determinante primario del nivel de producción.

Dado que el modelo se encuentra especificado en forma logarítmica, el coeficiente puede interpretarse como una elasticidad. En este sentido, un incremento del 1% en el área cultivada genera un aumento aproximado de 0.36% en la producción agrícola, manteniendo constantes las demás variables. La magnitud de esta elasticidad —positiva pero inferior a la unidad— constituye un resultado clave, ya que revela la presencia de rendimientos marginales decrecientes del factor tierra.

Desde una perspectiva teórica, este comportamiento es consistente con los fundamentos de la teoría neoclásica de la producción, según la cual la incorporación adicional de un factor productivo,

manteniendo constantes los demás, genera incrementos cada vez menores en el nivel de output. En el ámbito agrícola, este principio se intensifica debido a restricciones naturales como la calidad del suelo, la disponibilidad de agua y la heterogeneidad de las condiciones agroecológicas.

No obstante, el alcance de este resultado trasciende la validación teórica, al proporcionar evidencia empírica sobre la naturaleza del crecimiento agrícola en la región Ica. La elasticidad estimada sugiere que, si bien la expansión de la superficie cultivada continúa siendo un mecanismo de crecimiento, su capacidad para generar incrementos sustanciales en la producción es limitada. En consecuencia, el crecimiento extensivo enfrenta restricciones estructurales que reducen su efectividad en el largo plazo.

Este hallazgo adquiere especial relevancia en un contexto como el de la región Ica, caracterizado por la escasez relativa de recursos naturales, particularmente hídricos. En este entorno, la expansión de la frontera agrícola no solo enfrenta límites físicos, sino también costos crecientes asociados a la explotación de tierras marginales y a la sobreexplotación de acuíferos, lo que puede comprometer la sostenibilidad del sistema productivo.

Desde una perspectiva comparativa, la magnitud de la elasticidad permite inferir que el sistema agrícola de Ica presenta características propias de un modelo productivo en transición. En este modelo, la tierra deja de ser el principal motor del crecimiento para dar paso a factores asociados a la eficiencia y la productividad. Este comportamiento contrasta con sistemas agrícolas extensivos tradicionales, en los cuales la expansión del área cultivada constituye el principal determinante del crecimiento del output.

Asimismo, el resultado evidencia que el área cultivada cumple una función predominantemente estructural, al definir el límite físico del sistema productivo, pero no necesariamente su dinámica de crecimiento. En este sentido, la tierra actúa como soporte del sistema, mientras que otros factores —particularmente la productividad— determinan su capacidad de expansión y generación de valor.

Este cambio en la lógica productiva puede interpretarse como una señal de madurez del sistema agrícola, en la cual el crecimiento deja de depender de la acumulación de factores físicos y se orienta hacia la optimización en el uso de los recursos disponibles. En este contexto, la eficiencia productiva emerge como el principal mecanismo de generación de valor agregado.

Desde el punto de vista de política económica, este resultado tiene implicancias directas. En particular, sugiere que las estrategias basadas exclusivamente en la expansión de la superficie cultivada presentan rendimientos decrecientes y, por tanto, deben ser progresivamente sustituidas o complementadas por políticas orientadas a mejorar la productividad, promover la innovación tecnológica y optimizar la gestión de los recursos.

Adicionalmente, la evidencia empírica permite advertir sobre los riesgos asociados a un modelo de crecimiento extensivo, tales como la degradación del suelo, la sobreexplotación de recursos hídricos y la pérdida de sostenibilidad ambiental. En consecuencia, el diseño de estrategias de desarrollo agrícola debe incorporar criterios de eficiencia y sostenibilidad de largo plazo.

Finalmente, el análisis del área cultivada permite reafirmar la existencia de una estructura jerárquica del sistema productivo agrícola, en la cual la tierra constituye el soporte estructural, pero no el motor principal del crecimiento. Este hallazgo resulta fundamental para comprender la lógica de funcionamiento del sistema agrícola de la región Ica y proporciona un marco interpretativo para el análisis de los demás factores considerados en la investigación.

#### **7.4. Productividad agrícola: motor dinámico del crecimiento**

Los resultados obtenidos evidencian que la productividad agrícola constituye el factor más relevante en la dinámica del sistema productivo, consolidándose como el principal motor del crecimiento agrícola en la región Ica. El coeficiente contemporáneo positivo y estadísticamente significativo ( $\beta \approx 0.068$ ;  $p < 0.01$ ) indica que las mejoras en la eficiencia productiva generan incrementos inmediatos en el nivel de producción, confirmando el rol central de la productividad en la generación de valor económico.

Desde una perspectiva econométrica, este resultado refleja un efecto directo e inmediato de la productividad sobre el output, lo que sugiere que los avances en eficiencia —derivados de la adopción tecnológica, la optimización en el uso de insumos y la mejora en los procesos productivos— se traducen rápidamente en mayores niveles de producción. Este comportamiento contrasta con el observado en factores estructurales como la tierra, cuyos efectos son más limitados y sujetos a rendimientos decrecientes.

No obstante, el análisis adquiere mayor profundidad al considerar el coeficiente rezagado de la productividad, el cual presenta un signo negativo y estadísticamente significativo ( $\beta \approx -0.096$ ;  $p < 0.01$ ). Este resultado evidencia la existencia de un proceso de ajuste dinámico, en el cual los efectos positivos iniciales de la productividad tienden a moderarse en periodos posteriores, revelando la naturaleza no lineal del proceso productivo.

Desde una interpretación económica, este comportamiento puede explicarse mediante varios mecanismos complementarios. En primer lugar, puede reflejar procesos de saturación productiva, en los cuales los incrementos iniciales en eficiencia generan aumentos significativos en la producción, pero dichos efectos se reducen a medida que el sistema se aproxima a sus límites operativos. En segundo lugar, puede estar asociado a procesos de reorganización productiva, donde la implementación de mejoras tecnológicas requiere ajustes en la asignación de factores que generan costos transitorios. Finalmente, también puede interpretarse como evidencia de restricciones estructurales o institucionales que limitan la sostenibilidad de los incrementos iniciales en eficiencia.

Desde el punto de vista teórico, estos resultados son consistentes con la teoría del crecimiento endógeno desarrollada por Paul Romer, en la cual la productividad —entendida como resultado de la acumulación de conocimiento, innovación y capital humano— constituye el principal determinante del crecimiento económico sostenido. En este marco, la productividad no es un factor exógeno, sino un proceso dinámico que evoluciona en función de decisiones económicas y procesos de aprendizaje.

Asimismo, el comportamiento dinámico observado se alinea con los planteamientos de Yujiro Hayami y Vernon Ruttan, quienes sostienen que el desarrollo agrícola en contextos de restricción de recursos depende fundamentalmente de la capacidad de generar innovaciones tecnológicas que incrementen la eficiencia en el uso de los factores productivos.

A diferencia del factor tierra, la productividad no enfrenta limitaciones físicas inmediatas, lo que le otorga una ventaja estructural como fuente de crecimiento. Mientras que la expansión del área cultivada está condicionada por restricciones naturales, la productividad puede incrementarse de manera sostenida mediante la innovación, la incorporación de tecnología y la mejora en la gestión productiva.

En el contexto específico de la región Ica, este resultado adquiere una relevancia estratégica significativa. La evidencia sugiere que el sistema agrícola ha evolucionado hacia un modelo intensivo, en el cual el crecimiento depende fundamentalmente de la eficiencia en el uso de los recursos, más que de la expansión de la base física productiva. Este proceso de transformación estructural es característico de sistemas agrícolas que han alcanzado un mayor grado de tecnificación y especialización.

Desde una perspectiva sistémica, la productividad puede ser entendida como el factor articulador del sistema agrícola, en tanto influye directamente en la eficiencia del uso de la tierra, en la capacidad de adaptación frente a condiciones climáticas y en la respuesta del sistema ante restricciones estructurales. En este sentido, su impacto trasciende su efecto directo sobre la producción, generando externalidades positivas sobre el conjunto del sistema productivo.

Asimismo, el carácter dinámico de la productividad implica que sus efectos no son lineales ni permanentes, sino que dependen de procesos continuos de acumulación, innovación y adaptación tecnológica. Esto refuerza la necesidad de analizar la productividad no como una variable estática, sino como un proceso evolutivo que condiciona la trayectoria de crecimiento del sistema agrícola.

Desde el punto de vista de política económica, los resultados obtenidos tienen implicancias claras. En particular, sugieren que las estrategias orientadas al desarrollo del sector agrícola deben priorizar la inversión en innovación, investigación y desarrollo (I+D), transferencia tecnológica y capacitación de los productores. Asimismo, se evidencia la importancia de fortalecer los sistemas de asistencia técnica, el acceso a información y la gestión eficiente de recursos como elementos clave para potenciar la productividad.

Finalmente, la evidencia empírica permite afirmar que la productividad agrícola no solo constituye un determinante significativo de la producción, sino que representa el principal motor del crecimiento sostenible en el largo plazo. Este hallazgo consolida el argumento central de la investigación: el sistema agrícola de la región Ica ha transitado hacia un modelo productivo intensivo, basado en eficiencia, conocimiento y optimización de recursos, donde la productividad se erige como el eje fundamental del desarrollo.

#### **7.5. Precipitación: rol condicionado del factor climático**

El análisis del coeficiente asociado a la variable precipitación ( $\beta \approx 0.0021$ ;  $p \approx 0.056$ ) evidencia un efecto positivo sobre la producción agrícola, aunque con una significancia estadística marginal al 10%. Este resultado indica que las condiciones climáticas inciden en el desempeño del sistema productivo; sin embargo, su impacto es relativamente limitado en comparación con los factores estructurales y dinámicos previamente analizados.

Desde una perspectiva econométrica, la significancia marginal sugiere que la precipitación no constituye un determinante dominante dentro del modelo, aunque su influencia no es despreciable. Este comportamiento es característico de sistemas productivos en los cuales los factores naturales han sido parcialmente internalizados o mitigados mediante el uso de tecnología, reduciendo la sensibilidad del output frente a variaciones climáticas.

En términos teóricos, este resultado puede interpretarse en el marco de la literatura sobre adaptación tecnológica en la agricultura, la cual sostiene que el desarrollo de infraestructura, la innovación productiva y la gestión eficiente de recursos permiten desacoplar parcialmente la

producción agrícola de las condiciones climáticas. En este contexto, la disponibilidad de sistemas de riego, tecnologías de control hídrico y prácticas agronómicas avanzadas reduce la dependencia directa de la precipitación como factor determinante.

Asimismo, la evidencia empírica internacional muestra que el impacto del clima sobre la producción agrícola no es homogéneo, sino que depende del nivel de desarrollo tecnológico del sistema productivo. En sistemas agrícolas altamente tecnificados —como el de la región Ica— el efecto de la precipitación tiende a ser menos significativo, en contraste con sistemas tradicionales donde la producción depende directamente de la lluvia.

No obstante, el signo positivo del coeficiente estimado confirma que la precipitación continúa desempeñando un rol relevante, aunque subordinado, dentro del sistema productivo. Este resultado sugiere que, si bien la tecnología ha reducido la vulnerabilidad climática, no ha eliminado completamente su influencia. En este sentido, la precipitación puede ser interpretada como un factor complementario, que refuerza —pero no determina— el nivel de producción agrícola.

Desde una perspectiva analítica, este comportamiento constituye evidencia de un proceso de sustitución parcial entre factores naturales y tecnológicos. Es decir, el sistema productivo ha desarrollado capacidades que permiten compensar, hasta cierto punto, la variabilidad climática, reduciendo su dependencia estructural del factor lluvia. Sin embargo, esta sustitución no es absoluta, lo que explica la persistencia de un efecto positivo, aunque de magnitud limitada.

En el contexto específico de la región Ica, este resultado adquiere una relevancia particular debido a las características del sistema agrícola local, el cual se sustenta en el uso intensivo de recursos hídricos provenientes de fuentes subterráneas y sistemas de irrigación tecnificada. En este entorno, la precipitación no constituye la principal fuente de agua para la producción, lo que explica su menor peso relativo dentro del modelo.

Adicionalmente, este hallazgo permite inferir que el sistema agrícola de la región ha alcanzado un nivel de desarrollo en el cual la variabilidad climática es gestionada mediante mecanismos de

adaptación, reduciendo la exposición directa a riesgos asociados a eventos climáticos adversos. No obstante, esta aparente resiliencia no implica la eliminación del riesgo climático, sino su transformación en un riesgo indirecto, vinculado a la sostenibilidad de los recursos hídricos que actúan como sustitutos de la precipitación.

Desde el punto de vista de política económica, este resultado tiene implicancias relevantes. En particular, sugiere que las estrategias de desarrollo agrícola deben enfocarse no solo en la gestión de la variabilidad climática, sino también en la sostenibilidad de los sistemas de riego y en la conservación de los recursos hídricos. En este sentido, la reducción de la dependencia directa de la precipitación debe ir acompañada de políticas orientadas a evitar la sobreexplotación de acuíferos y a promover el uso eficiente del agua.

Asimismo, el carácter marginal del efecto climático plantea la necesidad de replantear el rol de las variables ambientales dentro del análisis del crecimiento agrícola, reconociendo que su impacto depende de su interacción con factores tecnológicos y estructurales. Este enfoque refuerza la importancia de analizar el sistema agrícola desde una perspectiva integrada, en la cual los factores naturales no actúan de manera aislada, sino como parte de un sistema complejo.

Finalmente, la evidencia empírica permite concluir que la precipitación cumple un rol condicionado dentro del sistema agrícola de la región Ica: su influencia es positiva, pero limitada, y depende en gran medida del grado de tecnificación del sistema productivo. Este hallazgo refuerza la interpretación general de la investigación, según la cual el sistema agrícola regional ha evolucionado hacia un modelo intensivo, en el que la tecnología y la eficiencia productiva predominan sobre los condicionantes naturales como determinantes del crecimiento.

#### **7.6. Síntesis estructural del sistema agrícola**

El análisis integrado de los resultados permite comprender el sistema productivo agrícola de la región Ica no como un conjunto de variables aisladas, sino como una estructura interdependiente, dinámica y coherente, en la cual cada factor cumple un rol específico dentro del funcionamiento global del sistema.

En este sentido, la evidencia empírica derivada del modelo econométrico permite identificar una organización estructural claramente definida, caracterizada por la interacción simultánea y complementaria de sus componentes. Esta interacción no es estática, sino que responde a procesos de ajuste intertemporal, acumulación de capacidades productivas y adaptación tecnológica, los cuales configuran la evolución del sistema en el tiempo.

En primer lugar, se observa una marcada persistencia temporal, lo que implica que el comportamiento actual de la producción agrícola está fuertemente condicionado por su trayectoria histórica. Este resultado evidencia que el sistema productivo presenta características de dependencia de trayectoria (path dependence), en las cuales las decisiones pasadas —inversiones, adopción tecnológica y organización productiva— continúan influyendo en el desempeño presente. En términos analíticos, la producción agrícola no responde únicamente a condiciones contemporáneas, sino a un proceso acumulativo de desarrollo.

En segundo lugar, el área cultivada se consolida como la base estructural del sistema. Este factor define la capacidad instalada y los límites físicos dentro de los cuales opera la producción agrícola. Sin embargo, su capacidad para impulsar el crecimiento es limitada, debido a la presencia de rendimientos marginales decrecientes y a restricciones estructurales asociadas a la disponibilidad de recursos, particularmente hídricos. En este sentido, la tierra constituye un soporte necesario, pero no suficiente para sostener el crecimiento en el largo plazo.

En tercer lugar, la productividad agrícola emerge como el principal motor dinámico del sistema. A diferencia de la tierra, la productividad no se encuentra sujeta a restricciones físicas inmediatas, sino que depende de la capacidad del sistema para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. Esto incluye la incorporación de tecnología, la innovación en los procesos productivos y la mejora en la gestión agrícola. En consecuencia, el crecimiento del sistema se desplaza desde una lógica extensiva —basada en la acumulación de factores— hacia una lógica intensiva, centrada en la optimización de los recursos disponibles.

En cuarto lugar, la precipitación actúa como un factor condicionante cuyo impacto depende del nivel de tecnificación del sistema productivo. Si bien su efecto es positivo, su influencia es relativamente limitada debido al uso intensivo de sistemas de riego y tecnologías de gestión hídrica. Este resultado evidencia un proceso de adaptación estructural, en el cual el sistema agrícola ha reducido su dependencia directa de las condiciones climáticas, sin eliminar completamente su influencia.

A partir de estos elementos, se puede identificar una estructura jerárquica del sistema agrícola, en la cual los distintos factores cumplen funciones diferenciadas:

- Persistencia temporal: define la trayectoria y continuidad del sistema
- Área cultivada: establece la base estructural y los límites físicos
- Productividad agrícola: impulsa el crecimiento dinámico
- Precipitación: condiciona el desempeño en función del contexto

Esta jerarquía no solo permite comprender el funcionamiento del sistema, sino también explicar su comportamiento. No es la acción aislada de cada factor lo que determina la producción, sino la interacción estructurada entre ellos.

Desde una perspectiva más amplia, los resultados evidencian que el sistema agrícola de la región Ica ha experimentado una transformación estructural significativa, transitando desde un modelo tradicional basado en la expansión de recursos hacia un modelo moderno centrado en la eficiencia productiva. Este cambio implica una modificación profunda en la lógica de crecimiento del sector agrícola.

En términos analíticos, esta transformación refleja la transición hacia un sistema productivo intensivo, tecnificado y adaptativo, en el cual la generación de valor depende cada vez más de la capacidad de optimizar recursos, incorporar innovación y gestionar eficientemente las restricciones estructurales.

Desde una perspectiva aplicada, este hallazgo tiene implicancias directas: el crecimiento futuro del sistema agrícola no dependerá principalmente de la expansión de la superficie cultivada, sino de la mejora continua en la productividad, la optimización del uso del agua y el fortalecimiento de las capacidades tecnológicas del sistema.

Finalmente, la síntesis estructural desarrollada permite afirmar que la producción agrícola en la región Ica responde a un sistema dinámico, adaptativo y en proceso de consolidación, en el cual la eficiencia, la tecnología y la gestión de recursos desempeñan un papel central. Este entendimiento no solo aporta claridad sobre el funcionamiento del sistema, sino que también proporciona una base sólida para la formulación de políticas públicas y estrategias orientadas al desarrollo sostenible del sector agrícola.

#### **7.7. Comparación con la literatura científica**

Los resultados obtenidos en la presente investigación no solo permiten explicar el comportamiento del sistema agrícola en la región Ica, sino que también posibilitan su contrastación con los principales enfoques teóricos y la evidencia empírica desarrollada en la literatura científica internacional. Este ejercicio resulta fundamental, en la medida en que permite situar el estudio dentro del debate académico, identificar convergencias y divergencias, y valorar su contribución al conocimiento existente.

En primer lugar, los resultados muestran una clara consistencia con la teoría neoclásica de la producción, particularmente con la función de producción propuesta por Charles Cobb y Paul Douglas (1928), en la cual el nivel de output depende de la combinación de factores productivos. La evidencia empírica confirma que tanto el área cultivada como la productividad agrícola influyen de manera significativa en la producción, validando el principio de que el crecimiento económico se sustenta en la interacción de múltiples factores.

No obstante, el análisis permite trascender este enfoque clásico al evidenciar las limitaciones de un modelo basado exclusivamente en la acumulación de factores físicos. La identificación de

rendimientos decrecientes del factor tierra, en línea con la teoría neoclásica, refuerza la necesidad de incorporar enfoques dinámicos que expliquen el crecimiento a partir de la eficiencia y la innovación.

En esta línea, los hallazgos se alinean de manera consistente con la teoría del crecimiento endógeno desarrollada por Paul Romer (1990), en la cual la productividad se posiciona como el principal motor del crecimiento económico sostenido. La evidencia empírica obtenida confirma que la productividad agrícola no solo tiene un efecto significativo, sino que constituye el factor dinámico que impulsa la expansión del sistema productivo, lo cual coincide con la literatura contemporánea en economía agrícola.

Asimismo, los resultados son coherentes con el enfoque de sistemas agrícolas propuesto por Yujiro Hayami y Vernon Ruttan (1985), quienes sostienen que el desarrollo agrícola depende de la interacción entre tecnología, recursos y entorno. En el caso de la región Ica, esta interacción se manifiesta claramente en la relación entre la base estructural (tierra), el motor dinámico (productividad) y los factores condicionantes (clima), configurando un sistema integrado, adaptativo y funcionalmente jerarquizado.

En relación con el impacto del factor climático, los resultados obtenidos coinciden con estudios que evidencian que la tecnificación agrícola reduce la dependencia directa de las condiciones climáticas. Investigaciones de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016) y de Hans P. Binswanger-Mkhize (2017) muestran que en sistemas agrícolas con alta inversión en infraestructura hídrica, el efecto de variables como la precipitación tiende a ser menos determinante. Este comportamiento es consistente con la evidencia encontrada para la región Ica, donde el uso intensivo de sistemas de riego ha permitido mitigar la variabilidad climática.

Sin embargo, los resultados también presentan matices relevantes frente a la literatura reciente. Estudios como los de Ariel Ortiz-Bobea et al. (2021) destacan un impacto más significativo del

cambio climático sobre la productividad agrícola a nivel global. La diferencia observada en el presente estudio sugiere que el efecto del clima no es homogéneo, sino que depende del nivel de desarrollo tecnológico y de la capacidad de adaptación de cada sistema productivo. En este sentido, el caso de la región Ica aporta evidencia empírica sobre cómo la tecnificación puede modificar sustancialmente la relación entre clima y producción.

Por otro lado, la evidencia de persistencia temporal identificada en el modelo es consistente con los planteamientos de W. Brian Arthur (1989) sobre dependencia de trayectoria, así como con la literatura sobre dinámica económica en sistemas productivos. Este resultado refuerza la idea de que el crecimiento agrícola no es un proceso instantáneo, sino acumulativo, en el cual las decisiones pasadas condicionan el desempeño futuro.

En conjunto, la comparación con la literatura científica permite afirmar que los resultados obtenidos no solo validan teorías ampliamente aceptadas, sino que también aportan evidencia empírica relevante en un contexto regional específico. En particular, el estudio contribuye a demostrar que, en sistemas agrícolas tecnificados, el crecimiento depende fundamentalmente de la productividad y de la capacidad de adaptación tecnológica, más que de la expansión de factores tradicionales como la tierra o de la dependencia directa del clima.

Finalmente, el principal aporte de la presente investigación radica en integrar enfoques teóricos clásicos y modernos dentro de un análisis empírico coherente, evidenciando que el desarrollo agrícola debe ser entendido como un proceso dinámico, sistémico y condicionado por la eficiencia productiva. Este enfoque no solo enriquece el debate académico, sino que también proporciona una base sólida para futuras investigaciones orientadas a comprender la transformación de los sistemas agrícolas en contextos de restricción de recursos y cambio climático.

### **7.8. Implicancias analíticas**

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten replantear el análisis del crecimiento agrícola desde una perspectiva más amplia y rigurosa, superando los enfoques tradicionales centrados exclusivamente en la acumulación de factores productivos. En este sentido,

la evidencia empírica demuestra que el sistema agrícola de la región Ica no responde a una lógica lineal de crecimiento, sino a un proceso dinámico, estructural y condicionado por la interacción de múltiples dimensiones.

En primer lugar, una implicancia analítica central es la necesidad de comprender el crecimiento agrícola como un fenómeno multidimensional, en el cual la expansión de recursos físicos —como la tierra— constituye solo un componente del sistema, pero no su determinante principal. La evidencia de rendimientos decrecientes del área cultivada revela los límites del crecimiento extensivo, cuestionando los enfoques tradicionales que asocian el incremento del output con la simple ampliación de la superficie productiva.

En segundo lugar, los resultados posicionan a la productividad agrícola como el eje central del análisis económico. Este hallazgo implica un cambio conceptual significativo: el crecimiento deja de explicarse por la cantidad de recursos utilizados y pasa a depender de la eficiencia con la que estos son gestionados. En términos analíticos, esto supone una transición desde un enfoque basado en factores hacia un enfoque basado en capacidades, donde el conocimiento, la innovación tecnológica y la gestión productiva adquieren un rol protagónico.

En tercer lugar, la evidencia de persistencia temporal introduce un elemento estructural clave en la interpretación del sistema. La dinámica agrícola no es instantánea, sino acumulativa, lo que implica que los cambios en el sistema productivo requieren tiempo para consolidarse. En este marco, las decisiones presentes deben ser entendidas como parte de una trayectoria histórica, en la cual los efectos de las inversiones, innovaciones y políticas se manifiestan progresivamente. Esto refuerza la necesidad de incorporar explícitamente la dimensión temporal en el análisis económico.

En cuarto lugar, el comportamiento de la precipitación como variable con efecto positivo, pero limitado, permite replantear el rol de los factores climáticos dentro del análisis agrícola. En lugar de ser considerados determinantes directos, los factores ambientales deben ser entendidos como variables cuyo impacto está mediado por el nivel de tecnificación del sistema. Este enfoque

introduce una visión más compleja, en la cual la relación entre naturaleza y producción se encuentra condicionada por la capacidad de adaptación tecnológica.

De manera integrada, estos resultados permiten proponer un marco analítico estructurado, en el cual el sistema agrícola puede ser comprendido a partir de cuatro dimensiones interrelacionadas:

- Dimensión estructural: definida por la disponibilidad de tierra
- Dimensión dinámica: impulsada por la productividad agrícola
- Dimensión temporal: asociada a la persistencia del sistema
- Dimensión ambiental: condicionada por los factores climáticos

Este enfoque multidimensional permite superar visiones simplificadas del crecimiento agrícola, proporcionando una comprensión más completa y realista del funcionamiento del sistema productivo.

Asimismo, una implicancia analítica fundamental es la identificación de una transición estructural en el modelo agrícola de la región Ica. La evidencia demuestra que el sistema ha evolucionado desde un modelo extensivo, basado en la expansión de recursos, hacia un modelo intensivo centrado en la eficiencia, la optimización del uso de factores y la incorporación de tecnología. Este proceso redefine no solo la lógica de crecimiento, sino también los criterios analíticos utilizados para evaluar el desempeño del sector agrícola.

Desde una perspectiva metodológica, el uso del modelo ARDL introduce una implicancia relevante: la necesidad de incorporar enfoques dinámicos en el análisis económico. La capacidad de este modelo para capturar relaciones de corto y largo plazo evidencia que los sistemas productivos no responden de manera inmediata a los cambios, sino que presentan procesos de ajuste intertemporal que deben ser considerados en la interpretación de los resultados.

Finalmente, la evidencia empírica sugiere que el análisis del crecimiento agrícola debe abordarse desde una perspectiva sistémica, en la cual los factores no sean analizados de manera aislada, sino

como componentes de una estructura interdependiente. Este enfoque no solo mejora la comprensión del sistema, sino que también abre nuevas líneas de investigación orientadas a explorar las interacciones entre tecnología, recursos y entorno en contextos agrícolas específicos. En síntesis, las implicancias analíticas derivadas de este estudio permiten redefinir el enfoque tradicional del crecimiento agrícola, orientándolo hacia una visión más compleja, dinámica y centrada en la eficiencia productiva, lo que constituye un aporte relevante para el desarrollo de la economía agrícola aplicada y para la formulación de marcos analíticos más robustos en contextos regionales.

### **7.9. Implicancias para la política pública**

Los resultados obtenidos en la presente investigación aportan evidencia empírica relevante para el diseño y la orientación de políticas públicas en el sector agrícola de la región Ica, al demostrar que el crecimiento productivo no depende exclusivamente de la expansión de recursos, sino fundamentalmente de la eficiencia en su utilización y de la capacidad de adaptación del sistema productivo.

En primer lugar, la evidencia de rendimientos decrecientes del área cultivada indica que las políticas centradas en la expansión de la frontera agrícola presentan limitaciones estructurales para sostener el crecimiento en el largo plazo. En este sentido, resulta necesario replantear los enfoques tradicionales basados en el aumento de superficie, orientándolos hacia estrategias que prioricen la optimización del uso del suelo, la mejora de la productividad por unidad de área y la gestión eficiente de los recursos disponibles.

En segundo lugar, los resultados posicionan a la productividad agrícola como el principal motor del crecimiento, lo que implica que las políticas públicas deben focalizarse en el fortalecimiento de los factores que la determinan. Esto requiere promover la inversión en innovación tecnológica, investigación aplicada, transferencia de conocimientos y capacitación de los productores, así como facilitar el acceso a tecnologías que permitan mejorar la eficiencia en el uso de insumos, optimizar procesos productivos y elevar la calidad de la producción agrícola.

En tercer lugar, la evidencia de persistencia temporal introduce una implicancia clave para la planificación pública: los efectos de las políticas no son inmediatos, sino que se materializan de manera progresiva en el tiempo. Este hallazgo resalta la necesidad de diseñar políticas con horizontes de mediano y largo plazo, evitando enfoques cortoplacistas que no generan transformaciones estructurales en el sistema productivo.

En cuarto lugar, el análisis del rol de la precipitación evidencia que, si bien el factor climático mantiene una influencia positiva, su impacto es limitado en sistemas agrícolas altamente tecnificados como el de la región Ica. Este resultado sugiere que las políticas deben ir más allá de la gestión del riesgo climático, orientándose a garantizar la sostenibilidad de los sistemas que han permitido reducir dicha dependencia, particularmente aquellos vinculados al uso intensivo de recursos hídricos.

En este contexto, la gestión sostenible del agua se posiciona como un eje estratégico central. La reducción de la dependencia directa de la precipitación ha sido posible gracias al uso intensivo de sistemas de riego y a la explotación de acuíferos, lo que plantea desafíos significativos en términos de sostenibilidad. Por ello, resulta fundamental implementar políticas orientadas al uso eficiente del agua, la regulación de su extracción y la promoción de tecnologías de riego avanzadas, con el fin de garantizar la viabilidad del sistema en el largo plazo.

De manera integrada, los resultados permiten proponer un enfoque de política pública basado en cuatro ejes estratégicos interrelacionados:

- Eficiencia productiva: fortalecimiento de la innovación, la tecnología y la gestión eficiente de recursos
- Sostenibilidad ambiental: uso responsable del agua y conservación del suelo
- Planificación de largo plazo: incorporación de la dinámica temporal en el diseño de políticas
- Adaptación tecnológica: fortalecimiento de la resiliencia frente a condiciones climáticas

Este enfoque integral permite superar intervenciones fragmentadas, promoviendo una estrategia coherente y alineada con la estructura real del sistema productivo.

Asimismo, los hallazgos evidencian que el sistema agrícola de la región Ica se encuentra en una fase de transición estructural hacia un modelo intensivo, en el cual el crecimiento depende cada vez más de la productividad y menos de la expansión de recursos físicos. En este contexto, las políticas públicas deben acompañar este proceso mediante la facilitación del acceso a financiamiento, la promoción de la adopción tecnológica y el fortalecimiento de las capacidades productivas de los agentes económicos.

Finalmente, la evidencia empírica sugiere que el desarrollo agrícola sostenible no debe ser entendido únicamente en términos de crecimiento del output, sino como un proceso que integra eficiencia económica, sostenibilidad ambiental y estabilidad intertemporal. En consecuencia, las políticas públicas deben diseñarse bajo un enfoque sistémico, que reconozca la interdependencia de estos elementos y promueva un desarrollo equilibrado, resiliente y sostenible del sector agrícola.

#### **7.10. Aporte al conocimiento científico**

La presente investigación realiza un aporte sustantivo al conocimiento científico en el campo de la economía agrícola aplicada, al integrar de manera rigurosa el análisis econométrico con los fundamentos teóricos del crecimiento económico y la producción, en un contexto regional específico como la región Ica.

En primer lugar, uno de los aportes centrales radica en la validación empírica de un enfoque sistémico del crecimiento agrícola. A diferencia de estudios que analizan los factores productivos de manera aislada, esta investigación demuestra que la producción agrícola debe ser comprendida como el resultado de la interacción dinámica entre componentes estructurales, productivos, temporales y ambientales. Este enfoque permite superar visiones reduccionistas y aporta una comprensión más integral del funcionamiento del sistema agrícola.

En segundo lugar, el estudio contribuye a la literatura al evidenciar que el crecimiento agrícola en contextos tecnificados no depende principalmente de la expansión de factores físicos, sino de la mejora en la eficiencia productiva. Este hallazgo refuerza los postulados del crecimiento endógeno y aporta evidencia empírica relevante en un contexto regional específico, demostrando que la productividad agrícola constituye el principal motor del crecimiento sostenible.

En tercer lugar, la investigación incorpora de manera explícita la dimensión temporal en el análisis del sistema productivo, evidenciando la presencia de dependencia de trayectoria. Este aporte resulta particularmente relevante, ya que demuestra que la producción agrícola no responde únicamente a condiciones contemporáneas, sino que está condicionada por decisiones pasadas, procesos de inversión acumulada y dinámicas de aprendizaje. De este modo, el estudio amplía el análisis tradicional del crecimiento agrícola al integrar el carácter intertemporal del sistema.

En cuarto lugar, el estudio aporta evidencia sobre la relación condicionada entre factores climáticos y producción agrícola, mostrando que el impacto del clima depende del nivel de tecnificación del sistema productivo. Este resultado contribuye al debate científico sobre cambio climático y agricultura, al evidenciar que la vulnerabilidad climática no es homogénea, sino que puede ser mitigada mediante la incorporación de tecnología y la gestión eficiente de los recursos.

En quinto lugar, desde una perspectiva metodológica, la aplicación del modelo ARDL constituye un aporte relevante, al permitir capturar simultáneamente relaciones de corto y largo plazo dentro de un mismo marco analítico. Este enfoque fortalece la validez de los resultados y demuestra la pertinencia de utilizar modelos dinámicos en el análisis de sistemas productivos complejos.

De manera integrada, la investigación propone una estructura conceptual del sistema agrícola, en la cual se identifican cuatro componentes fundamentales: la base estructural (tierra), el motor dinámico (productividad), la dimensión temporal (persistencia) y el factor condicionante (clima). Esta propuesta no solo organiza los resultados obtenidos, sino que también configura un marco analítico que puede ser replicado y adaptado en futuros estudios sobre sistemas agrícolas en contextos similares.

Adicionalmente, el estudio aporta evidencia empírica específica para la región Ica, contribuyendo a reducir la brecha de conocimiento existente en estudios regionales. En este sentido, la investigación no solo valida teorías generales, sino que también demuestra cómo estas se manifiestan en contextos concretos, fortaleciendo la literatura con evidencia contextualizada y aplicada.

Finalmente, el aporte más relevante de la investigación radica en demostrar que el crecimiento agrícola debe ser entendido como un proceso dinámico, adaptativo y centrado en la eficiencia productiva, en el cual la interacción entre tecnología, recursos y entorno define la trayectoria de desarrollo del sistema. Este enfoque permite replantear las bases del análisis económico agrícola, orientándolo hacia una visión más integral y coherente con la complejidad de los sistemas productivos contemporáneos.

En síntesis, la presente investigación no solo confirma postulados teóricos ampliamente aceptados, sino que también genera un marco analítico integrador y evidencia empírica robusta, consolidándose como un aporte relevante para la economía agrícola aplicada y para el desarrollo de investigaciones futuras en contextos de restricción de recursos y alta tecnificación.

# Capítulo VIII

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CAPITULO VIII – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. Conclusiones

El análisis econométrico desarrollado mediante la estimación de un modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL) permite establecer conclusiones robustas que trascienden la verificación estadística, configurando una interpretación estructural, dinámica y evolutiva del sistema productivo agrícola en la región Ica durante el periodo 2000–2025.

En primer lugar, la producción agrícola presenta una marcada persistencia temporal, lo que evidencia que su comportamiento actual está fuertemente condicionado por su trayectoria histórica. Este resultado confirma la existencia de un proceso de dependencia de trayectoria, en el cual las decisiones pasadas —relacionadas con inversión, adopción tecnológica y organización productiva— determinan la dinámica presente del sistema. En consecuencia, el crecimiento agrícola se configura como un proceso acumulativo y no instantáneo.

En segundo lugar, el área cultivada se consolida como el componente estructural del sistema productivo, al definir su base física y capacidad operativa. No obstante, la evidencia muestra que su contribución al crecimiento es limitada en el largo plazo, debido a la presencia de rendimientos decrecientes y a restricciones estructurales asociadas a la disponibilidad de recursos, particularmente el agua. Este resultado cuestiona la sostenibilidad de modelos basados exclusivamente en la expansión de la frontera agrícola.

En tercer lugar, la productividad agrícola emerge como el principal motor dinámico del crecimiento, evidenciando que el desempeño del sistema depende fundamentalmente de la eficiencia en el uso de los recursos. Este hallazgo confirma que el crecimiento agrícola en la región Ica responde a un proceso de intensificación productiva, sustentado en la incorporación de tecnología, la mejora en la gestión y la optimización de factores productivos.

En cuarto lugar, los factores climáticos presentan un efecto positivo, pero limitado, lo que indica que su influencia está condicionada por el nivel de tecnificación del sistema productivo. En este sentido, la menor dependencia de la precipitación refleja un proceso de adaptación estructural, aunque también evidencia nuevos desafíos relacionados con la sostenibilidad del uso de los recursos hídricos.

En quinto lugar, la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo, junto con la capacidad del sistema para corregir desviaciones, confirma que la producción agrícola opera bajo una estructura dinámica estable, caracterizada por procesos de ajuste intertemporal y consistencia estructural. De manera integrada, los resultados permiten concluir que la producción agrícola en la región Ica responde a un sistema dinámico, interdependiente y en proceso de transformación estructural, en el cual:

- La persistencia temporal define la trayectoria del sistema,
- El área cultivada establece la base estructural,
- La productividad agrícola impulsa el crecimiento dinámico, y
- Los factores climáticos condicionan el desempeño productivo.

En consecuencia, el crecimiento agrícola no se sustenta en la expansión de recursos, sino en la eficiencia productiva.

En este marco, la investigación demuestra que el sistema agrícola de la región Ica ha transitado hacia un modelo productivo intensivo, en el cual la eficiencia, la tecnología y la gestión de recursos desplazan a los factores tradicionales como determinantes del crecimiento, constituyendo un aporte relevante para la comprensión del desarrollo agrícola en contextos de restricción de recursos y alta tecnificación.

## **8.2. Recomendaciones**

Las recomendaciones derivadas de la presente investigación se sustentan en la evidencia empírica obtenida y en la interpretación estructural del sistema agrícola, orientándose a promover un desarrollo sostenible, eficiente y resiliente del sector en la región Ica.

En primer lugar, se recomienda priorizar políticas orientadas al fortalecimiento de la productividad agrícola, dado que este factor constituye el principal motor del crecimiento. Esto implica promover la innovación tecnológica, fortalecer los sistemas de investigación aplicada, impulsar la transferencia de conocimientos y desarrollar programas de capacitación continua para los productores.

En segundo lugar, se propone consolidar la transición hacia un modelo de intensificación productiva sostenible, desplazando progresivamente el enfoque tradicional basado en la expansión de la frontera agrícola. Este enfoque debe centrarse en maximizar el rendimiento de las áreas cultivadas, mejorar la eficiencia en el uso de insumos y promover prácticas agrícolas sostenibles.

En tercer lugar, se recomienda fortalecer la gestión integral del recurso hídrico, reconociendo que la menor dependencia de la precipitación implica una mayor presión sobre fuentes alternativas de agua. En este sentido, resulta fundamental promover tecnologías de riego eficientes, implementar sistemas de regulación y monitoreo del uso del agua, y desarrollar estrategias de conservación y recarga de acuíferos.

En cuarto lugar, se sugiere adoptar un enfoque de planificación de mediano y largo plazo, en coherencia con la persistencia temporal del sistema productivo. Las políticas agrícolas deben considerar los efectos acumulativos de las decisiones, evitando intervenciones de corto plazo que no generen impactos estructurales.

En quinto lugar, se recomienda incorporar un enfoque de resiliencia agrícola, orientado a fortalecer la capacidad del sistema para enfrentar perturbaciones externas, tales como eventos climáticos

extremos, cambios en los mercados o restricciones en la disponibilidad de recursos. Esto implica promover sistemas productivos más adaptativos, diversificados y tecnológicamente preparados.

En sexto lugar, se plantea la necesidad de adoptar un enfoque sistémico en la formulación de políticas públicas, reconociendo la interdependencia entre los factores estructurales, productivos, climáticos y tecnológicos. Las estrategias deben diseñarse de manera integrada, evitando enfoques fragmentados que limiten su efectividad.

Finalmente, se recomienda profundizar futuras investigaciones incorporando variables adicionales como la disponibilidad hídrica, la radiación solar, el cambio climático y relaciones no lineales, así como el uso de metodologías econométricas avanzadas que permitan capturar con mayor precisión la complejidad del sistema agrícola.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Autoridad Nacional del Agua. (s. f.). Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH). Recuperado el 5 de abril de 2026, de <https://snirh.ana.gob.pe/onrh/>
- Aragón, F. M., Oteiza, F., & Rud, J. P. (2021). Climate change and agriculture: Subsistence farmers' response to extreme heat. *American Economic Journal: Economic Policy*, 13(1), 1–35. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/pol.20190316>
- Arthur, W. B. (1989). Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The Economic Journal*, 99(394), 116–131. [https://fbaum.unc.edu/teaching/articles/Arthur\\_EJ\\_1989.pdf](https://fbaum.unc.edu/teaching/articles/Arthur_EJ_1989.pdf)
- Binswanger-Mkhize, H. P. (2017). Agricultural intensification: The status in six African countries. *Food Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.09.021>
- Bhaskar, R. (1978). *A realist theory of science*. Routledge. [https://books.google.com/books/about/A\\_Realist\\_Theory\\_of\\_Science.html?id=GQ8bAAAAMAAJ](https://books.google.com/books/about/A_Realist_Theory_of_Science.html?id=GQ8bAAAAMAAJ)
- Chen, C., McCarl, B., & Schimmelpfennig, D. (2020). Yield variability as influenced by climate: A statistical investigation. *Climatic Change*, 163(2), 799–813. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-020-02846-3>
- Cobb, C. W., & Douglas, P. H. (1928). A theory of production. *The American Economic Review*, 18(1), 139–165. <https://www.aeaweb.org/aer/top20/18.1.139-165.pdf>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications. [https://books.google.com/books/about/Research\\_Design.html?id=335ZDwAAQBAJ](https://books.google.com/books/about/Research_Design.html?id=335ZDwAAQBAJ)
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427–431. <https://www.jstor.org/stable/2286348>
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49(4), 1057–1072. <https://www.jstor.org/stable/1912517>

- Diffenbaugh, N. S., & Burke, M. (2019). Global warming has increased global economic inequality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(20), 9808–9813. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1816020116>
- Food and Agriculture Organization. (2016). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2016*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/886113b6-f86d-4d6d-a22c-of37064ffba8/content>
- Food and Agriculture Organization. (2021). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2021*. <https://digitallibrary.un.org/record/3957702/files/2021-CA-SoFA-ES.pdf>
- Fuglie, K. O. (2015). Accounting for growth in global agriculture. *Bio-based and Applied Economics*, 4(3), 201–234. <https://ageconsearch.umn.edu/record/231887/files/17151-36419-1-PB.pdf>
- Gujarati, D. N. (2021). *Essentials of econometrics* (5th ed.). SAGE Publications. [https://books.google.com/books/about/Essentials\\_of\\_Econometrics.html?id=nlxnzgEACAAJ](https://books.google.com/books/about/Essentials_of_Econometrics.html?id=nlxnzgEACAAJ)
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill. <https://search.worldcat.org/title/Basic-econometrics/oclc/226356768>
- Hamilton, J. D. (1994). *Time series analysis*. Princeton University Press. [https://api.pageplace.de/preview/DTo400.9780691218632\\_A40156688/preview-9780691218632\\_A40156688.pdf](https://api.pageplace.de/preview/DTo400.9780691218632_A40156688/preview-9780691218632_A40156688.pdf)
- Hayami, Y., & Ruttan, V. W. (1985). *Agricultural development: An international perspective*. Johns Hopkins University Press. [https://books.google.com/books/about/Agricultural\\_Development.html?id=oxhGBia-THgC](https://books.google.com/books/about/Agricultural_Development.html?id=oxhGBia-THgC)
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=558021>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (s. f.). *Indicadores agropecuarios*. Recuperado el 5 de abril de 2026, de <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/agricultural/>
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W. D., & Shaw, D. (1994). The impact of global warming on agriculture. *American Economic Review*, 84(4), 753–771. [https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/resources/mendelsohn\\_nordhaus\\_shaw\\_aer\\_1994.pdf](https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/resources/mendelsohn_nordhaus_shaw_aer_1994.pdf)

- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). *Boletines anuales del SIEA*. Recuperado el 5 de abril de 2026, de <https://siesa.midagri.gob.pe/portal/boletines-anuales/>
- Ortiz-Bobea, A., Ault, T. R., Carrillo, C. M., Chambers, R. G., & Lobell, D. B. (2021). Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change*, *11*(4), 306–312. <https://arxiv.org/pdf/2007.10415.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://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jae.616>
- Ray, D. K., West, P. C., Clark, M., Gerber, J. S., Prishchepov, A. V., & Chatterjee, S. (2019). Climate change has likely already affected global food production. *PLOS ONE*, *14*(5), e0217148. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0217148>
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, *98*(5), S71–S102. [https://web.stanford.edu/~klenow/Romer\\_1990.pdf](https://web.stanford.edu/~klenow/Romer_1990.pdf)
- Schultz, T. W. (1964). *Transforming traditional agriculture*. Yale University Press. [https://books.google.com/books/about/Transforming\\_Traditional\\_Agriculture.html?id=vNLAQgAACAAJ](https://books.google.com/books/about/Transforming_Traditional_Agriculture.html?id=vNLAQgAACAAJ)
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (s. f.). *Datos hidrometeorológicos*. Recuperado el 5 de abril de 2026, de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, *70*(1), 65–94. <https://economicstrategy.org/wp-content/uploads/2013/10/Solow1956.pdf>
- StataCorp LLC. (2021). *Stata statistical software: Release 17*. <https://www.stata.com/support/faqs/resources/citing-software-documentation-faqs/>
- Varian, H. R. (2014). *Intermediate microeconomics: A modern approach* (9th ed.). W. W. Norton. <https://www.amazon.com/Intermediate-Microeconomics-Modern-Approach-Ninth/dp/0393123960>

- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data* (2nd ed.). MIT Press.  
<https://mitpress.mit.edu/9780262232586/econometric-analysis-of-cross-section-and-panel-data/>
- Wooldridge, J. M. (2013). *Introductory econometrics: A modern approach* (5th ed.). Cengage Learning.  
[https://books.google.com/books/about/Introductory\\_Econometrics.html?id=4TZnpwAACAAJ](https://books.google.com/books/about/Introductory_Econometrics.html?id=4TZnpwAACAAJ)
- Wooldridge, J. M. (2020). *Introductory econometrics: A modern approach* (7th ed.). Cengage Learning.  
<https://www.cengage.com/c/introductory-econometrics-a-modern-approach-7e-wooldridge/9781337558860/>

# Determinantes de la producción agrícola en la región Ica:

evidencia econométrica mediante un modelo ARDL (2000–2025)

Esta obra examina los principales factores que determinan la producción agrícola en la región Ica durante el período 2000–2025, mediante la aplicación de un modelo ARDL. A partir de un análisis econométrico riguroso, se evalúa el impacto de variables económicas, climáticas, tecnológicas y sociales sobre el desempeño agrícola regional. Los hallazgos ofrecen evidencia empírica relevante para el diseño de políticas públicas orientadas a fortalecer la productividad y sostenibilidad del sector agrícola.

## Autores



**Segundo Humberto  
Peña Tejada**

Economista. Investigador en economía agrícola y modelización econométrica. Especialista en análisis de series de tiempo y políticas públicas para el desarrollo regional.



**Cesar Augusto Ediberto  
Lévano Salazar**

Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, empresario en el rubro agroindustrial. Docente de la Facultad de Química y Petroquímica de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Investigador en educación superior, desarrollo humano y gestión empresarial y medio ambiente.



**Yovana Rosario  
Chacaltana de la Cruz**

Doctora en Ciencias Empresariales. Docente de la Facultad de Economía y Negocios Internacionales de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Experiencia en Gestión Pública, Investigador en las líneas de ciencias sociales y empresariales.



**Jorge Luis  
Donayre Rios**

Economista. Investigador en Economía Agrícola y Desarrollo Sostenible. Especialista en Análisis Econométrico y Planificación Regional.



EDITORIAL  
MUNDO INTERDISCIPLINARIO

ISBN 978-628-97574-7-7