

DESATANDO LA INNOVACIÓN

EVALUACIÓN DEL PAPEL DE LA I+D AGROPECUARIA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

ALEJANDRO NIN-PRATT
GERT-JAN STADS
LUIS DE LOS SANTOS
GONZALO MUÑOZ
Junio 2023



Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Desatando la innovación: Evaluación del papel de la I+D agropecuaria en América Latina y el Caribe / Alejandro Nin-Pratt, Gert-Jan Stads, Luis de los Santos, Gonzalo Muñoz.

p. cm. — (Monografía del BID ; 1115)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Agricultural innovations-Latin America. 2. Research and development projects-Latin America. 3. Agricultural development projects-Latin America. I. Nin-Pratt, Alejandro. II. Stads, Gert-Jan. III. Santos, Luis de los. IV. Muñoz, Gonzalo. V. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres. VI. Serie.

IDB-MG-1115

JEL Codes: O31, Q10, Q16, Q18

Keywords: Agricultura, Innovación, Investigación, I&D, América Latina

Banco Interamericano de Desarrollo

www.iadb.org/es

Publicado en 2023

Diseño y maquetación: Elena Sampedro | elena@lacasagrafica.com

Créditos de las imágenes: BID / iStockPhoto / Shutterstock Photos

Copyright © 2023 Banco Interamericano de Desarrollo.

Esta obra se encuentra sujeta a una licencia **Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas** (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Ina Sánchez, Yrene Kapa, Enrique Martínez Vargas, Milena Criollo Quevedo, Lucy Yaneth Juárez Morales, Arturo Galo, Miriam Villeda Izaguirre, Nasser Hanoi Carrillo Largaespada, Danilo Montalvan Duarte, Arnulfo Gutiérrez, Omar Alfaro, John Paul Villarreal Gutiérrez, Eduardo Fulcar y Fabio Frías, por coordinar las rondas de encuestas nacionales en sus respectivos países. También agradecen a la gran cantidad de agencias de investigación que proporcionaron datos detallados a las encuestas nacionales. Sin el compromiso de estas personas y agencias participantes, el trabajo de los Indicadores de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (ASTI) en América Latina y el Caribe no hubiera sido posible. Los autores también agradecen a Lorena Danessi y a Milcah Prasad, por su destacado apoyo a la investigación; y a Rubén Echeverría, por sus comentarios sobre una versión preliminar de este informe. Finalmente, los autores expresan un agradecimiento especial al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por su generoso financiamiento de las actividades de ASTI en América Latina y el Caribe, y a las Representaciones de país del BID, por facilitar el trabajo de la encuesta. También se extiende un agradecimiento especial a Pedro Martel, Ana Ríos Gálvez y Carmine Paolo de Salvo del BID, por sus importantes contribuciones al diseño de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen ejecutivo	5
1. Introducción	6
2. Contexto: capacidad de innovación y sistema alimentario	10
3. Sistemas de investigación agropecuaria en América Latina y el Caribe: tendencias y desafíos recientes	16
3.1. Composición institucional de la I+D agropecuaria	18
3.2. Capacidad del recurso humano en I+D agropecuaria	20
3.3. Gasto en I+D agropecuaria	26
4. Capacidad de investigación agropecuaria	30
4.1. Agrupamiento de países y países de referencia para el análisis comparativo	33
4.2. Análisis comparativo de los sistemas de investigación agropecuaria entre grupos de países	35
5. La relación entre el desempeño del sector agropecuario y la inversión en I+D en América Latina y el Caribe	38
6. Discusión e implicaciones políticas	44
Referencias	51
Anexo A. Sistemas alimentarios e innovación	54
Anexo B. Indicadores para el análisis del desempeño de los sistemas de investigación	61
Anexo C. Producción, productividad e I+D	63

LISTADO DE FIGURAS

1. Desarrollo del sistema alimentario en América Latina y el Caribe	12
2. Capacidad de innovación en América Latina y el Caribe.....	13
3. Desarrollo de sistemas alimentarios frente a la capacidad de innovación.....	15
4. Composición institucional de la investigación agropecuaria pública, 2020	18
5. Distribución de investigadores agropecuarios por nivel de cualificación, 2020.....	21
6. Composición por edades de los investigadores agropecuarios con doctorado en institutos nacionales de investigación agropecuaria seleccionados, 2020.....	22
7. Participación femenina en la investigación agropecuaria, 2012-2013 y 2020	24
8. Enfoque de investigación agropecuaria, 2020.....	25
9. Inversión en investigación agropecuaria, 2007, 2014, y 2020.....	27
10. Distribución del gasto en I+D agropecuaria por categoría de costo, 2017-2020.....	28
11. Índices de intensidad de la investigación agropecuaria por país, 2007, 2014, y 2020.....	29
12. El proceso de innovación agropecuaria.....	31
13. Tamaño del sistema de I+D agropecuaria y producción científica para 124 países agrupados por la dimensión de su sistema de investigación, 2010-2013	33
14. Crecimiento de la producción agropecuaria, la PTF y los insumos, 2000-2020	40
15. Crecimiento de la producción agropecuaria, la PTF y los insumos en ALC, desglosado por grupos de países con sistemas de investigación agropecuaria pequeños, medianos y grandes, 2000-2020	41
16. Crecimiento de la PTF agropecuaria en ALC desglosado por país, 2000-2020	42
17. Los impulsores del crecimiento de la PTF agropecuaria en ALC.....	43

LISTADO DE RECUADROS

1. Sector privado en I+D agropecuaria en América Latina y el Caribe	19
2. Número total de investigadores agropecuarios.....	20
3. Cuantificación de la inversión en investigación agropecuaria	26
4. Productividad total de los factores.....	39

LISTADO DE TABLAS

1. Número de investigadores con doctorado empleados en institutos nacionales de investigación agropecuaria en países seleccionados de ALC, 2012-2013 y 2020.....	21
2. Factores que contribuyen al desempeño de la producción de conocimiento científico en la agricultura.....	32
3. Comparaciones de países con pequeños sistemas de investigación agropecuaria.....	36
4. Comparaciones de países con sistemas de investigación agropecuaria medianos y grandes	37

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta un análisis exhaustivo de la investigación y el desarrollo (I+D) público agropecuario en América Latina y el Caribe (ALC), centrándose en los factores contextuales que influyen en la inversión en I+D agropecuaria y sus implicaciones para el crecimiento de su productividad.

El análisis combina datos nuevos para diez países de ALC recopilados por el programa de Indicadores de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (ASTI) del Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI) con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), con series de datos de ASTI existentes y otros conjuntos de datos. Al integrar estos diversos conjuntos de datos, el informe proporciona un examen en profundidad de las tendencias recientes en el gasto, la capacidad y los resultados de la investigación pública agropecuaria en toda la región de ALC.

Los hallazgos revelan una subinversión histórica en I+D agropecuaria en ALC, con una concentración desproporcionada de recursos en unos pocos países, en particular, Brasil. Si bien algunos países han sido testigos de un aumento del gasto público en I+D agropecuaria en los últimos años, una parte significativa de este crecimiento depende de la financiación externa de donantes y bancos de desarrollo, lo que plantea preocupaciones sobre la sostenibilidad a largo plazo. Además, el informe destaca el problema apremiante del inadecuado capital humano en la investigación agropecuaria en muchos países de ALC, lo que subraya la baja prioridad que tiene la I+D agropecuaria. Este descuido conduce a un agotamiento gradual de los recursos humanos críticos necesarios para la investigación, con posibles consecuencias que podrían tardar décadas en corregirse. Además, los países con sistemas de investigación agropecuaria

más pequeños enfrentan desafíos adicionales, incluidos entornos de innovación subdesarrollados, menor calidad y desarrollo de los sistemas de educación e investigación científica, y menor eficacia de sus esfuerzos de I+D.

A pesar de los altos retornos demostrados por las inversiones en I+D agropecuaria, los países de ALC continúan rezagados en la asignación de recursos suficientes a esta área crítica. El modelo de investigación agropecuaria tradicional se enfrenta a grandes desafíos para mantenerse al día con el entorno agropecuario en evolución y el sistema alimentario en general. En consecuencia, su impacto ha sido limitado, lo que ha llevado a una menor importancia política y apoyo financiero. Para abordar estos problemas y maximizar el impacto de la investigación, este informe recomienda integrar las instituciones de investigación en los sistemas nacionales de ciencia e innovación que estén alineados con la cadena de valor alimentaria en evolución. También destaca la importancia de fomentar alianzas entre países, abordar las brechas regulatorias, mejorar las capacidades humanas e institucionales, y establecer sistemas de financiamiento flexibles.

Estas recomendaciones son parte de una agenda a largo plazo para el cambio estructural. La alineación de los sistemas de investigación con la dinámica cambiante de los sistemas alimentarios será crucial para superar los desafíos del crecimiento futuro y promover el desarrollo sostenible en la región.

/1/

INTRODUCCIÓN



Actualmente, el mundo enfrenta múltiples desafíos que han puesto a la agricultura en primer plano. Cuatro importantes tendencias convergentes están impulsando esta dirección. En primer lugar, alimentar a unos 9.700 millones de personas para el 2050 –lo que requiere un aumento del 70% con respecto a los niveles actuales de producción agropecuaria– sigue siendo un gran desafío (División de Población de las Naciones Unidas, 2022). En segundo lugar, existe una clara evidencia de un deterioro en la base de los recursos naturales y las proyecciones sobre los efectos del cambio climático enfatizan la necesidad de ajustar los patrones de producción agropecuaria para reducir el impacto negativo de las acciones actuales y adaptarse a los nuevos parámetros climáticos (Pörtner et al., 2022).

En tercer lugar, la agricultura ya no es un sector aislado, sino parte de un sistema alimentario globalizado con cadenas de valor integradas que han experimentado importantes cambios institucionales y tecnológicos (de Janvry, 2010).

Esto ha resultado en una modificación estructural en el crecimiento agropecuario, impulsado por la urbanización y los cambios en la demanda. Como consecuencia, han surgido economías de especialización en los segmentos intermedios y descendentes de la cadena de valor, lo que aumenta la importancia de los segmentos posteriores a la salida de la finca y reduce la participación de los agricultores en el valor agregado total de la cadena.

Finalmente, está surgiendo un paradigma de investigación que desafía la distinción tradicional entre ciencia básica y aplicada, debido a los últimos avances en biotecnología e informática.

Como Trigo et al. (2013) advirtieron hace diez años, este cambio de paradigma tiene profundas implicaciones para las instituciones de investigación y exigirá relaciones más colaborativas entre estas, las universidades y el sector privado.

Todos estos acontecimientos simultáneos tienen implicaciones significativas para la investigación agropecuaria. El proceso de innovación está evolucionando. La diversificación y diferenciación de productos se han convertido en instrumentos competitivos cada vez más importantes. Los avances tecnológicos ya no se centran únicamente en mayores rendimientos, productividad y reducción de costos, sino también en la calidad, las oportunidades de cosecha y la conservación o procesamiento de los productos. Además, existe la necesidad de un enfoque integrado de la producción agropecuaria primaria que incluya las etapas de procesamiento y comercialización para definir las estrategias tecnológicas y las prioridades de investigación y desarrollo. Una estrategia de investigación que aisle la producción primaria de la agroindustria, los insumos y el procesamiento, y de la distribución final dificultará la generación de innovaciones y mejoras en la competitividad (Trigo et al., 2013).

América Latina y el Caribe está bien posicionada para abordar los tres desafíos convergentes que enfrenta la agricultura. La región cuenta con

abundantes recursos de tierra, agua y biodiversidad que son cruciales para el futuro. Además, cualquier análisis prospectivo de las condiciones futuras de oferta y demanda destaca que ALC tiene un papel fundamental que desempeñar en el logro de equilibrios mundiales en alimentos, energía y medioambiente. Sin embargo, para aprovechar plenamente este potencial, ALC debe mejorar sus estrategias tecnológicas para la intensificación sostenible, utilizar mejor la biodiversidad, transformar genéticamente los productos para satisfacer las demandas de los consumidores y utilizar de manera eficiente las plantas y los animales después de la cosecha y en entornos industriales. La pregunta sigue siendo la siguiente: ¿están preparados los sistemas de investigación agropecuaria en los países de ALC para estar a la altura de las circunstancias?

El establecimiento de institutos públicos de investigación en ALC a fines de la década de 1950 tenía como objetivo acelerar el crecimiento de la productividad agropecuaria, aumentar el suministro de alimentos y transferir mano de obra a los sectores industriales urbanos. Para complementar este esquema institucional, a partir de 1960, se crearon los Centros Internacionales de Investigación Agrícola, auspiciados por el Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (CGIAR), con el objetivo de facilitar los vínculos entre instituciones nacionales y centros de excelencia en países avanzados. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en México; el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en Colombia; y el Centro Internacional de la Papa (CIP), en Perú, se fundaron entre 1966 y 1972, y desde entonces se han convertido en actores importantes en sistemas de investigación y transferencia de tecnología de ALC.

Hasta principios de la década de 1980, este sistema institucional logró efectivamente sus objetivos, en particular, con respecto a mejorar la productividad y mantener bajos los precios de

los alimentos para una población cada vez más urbanizada (Nin-Pratt *et al.*, 2015). Sin embargo, después de la "década perdida" de 1980, los países de ALC comenzaron a revisar sus marcos de políticas macroeconómicas, ya que se culpó al modelo de industrialización por sustitución de importaciones seguido por la mayoría de los países por el mal desempeño del sector agropecuario. El modelo discriminaba a la agricultura debido a la sobrevaluación del tipo de cambio, los impuestos a la exportación, la protección del sector industrial y las intervenciones directas en el mercado. Los cambios de política dieron lugar a un nuevo enfoque del desarrollo rural que tuvo implicaciones para la investigación agropecuaria. Los programas por sectores productivos o cultivos fueron reemplazados por una visión más integral de la pobreza y el desarrollo rural, en la que la tecnología era solo un instrumento de intervención estatal en el marco de programas y proyectos más amplios.

Estos cambios han conducido a la imagen de los sistemas de investigación agropecuaria como ineficaces en el cumplimiento de sus mandatos, lo que puede ser una de las razones de la persistente falta de inversión que ha afectado a las instituciones públicas de investigación en la región. La percepción de bajo impacto alimenta aún más la subinversión. Esto debilita las capacidades existentes y afecta negativamente los resultados, lo que crea un ciclo vicioso. **El resultado es que el sistema de investigación tradicional, liderado por los institutos nacionales de investigación agropecuaria (INIA), pierde peso a favor de nuevas instituciones y organizaciones de investigación que favorecen el aprendizaje, la complementación, la interacción y la multiplicidad de actores como elementos en las discusiones sobre ciencia, tecnología y políticas de innovación, particularmente, para el sector agroalimentario** (Trigo *et al.*, 2013). En los últimos años, los nuevos desarrollos institucionales se están moviendo hacia los sistemas de innovación: una red de agentes y sus interacciones relacionadas

con la adopción y difusión de nuevos productos y procesos tecnológicos en una economía. Este cambio reconoce que la competitividad no solo está vinculada con la ciencia y la tecnología, sino también con cómo se traducen efectivamente en innovaciones y en procesos económicos y sociales específicos. Por lo tanto, **evaluar la investigación agropecuaria en ALC requiere analizar el contexto de innovación, las oportunidades y las limitaciones de cada país, incluida la infraestructura, la educación y la inversión pública y privada en I+D.** También requiere identificar los mejores marcos institucionales y los caminos más prometedores para utilizar los recursos de investigación de manera efectiva y aumentar la capacidad de innovación.

Para evaluar los sistemas de I+D agropecuaria en ALC, los datos cuantitativos son esenciales. Miden, monitorean y comparan los insumos, los productos y el desempeño de los sistemas de I+D a lo largo del tiempo, y son una herramienta indispensable cuando se trata de evaluar la contribución de la I+D agropecuaria al crecimiento de la productividad agropecuaria y al crecimiento económico en general. Dichos datos también son cruciales para los administradores de investigación y para los encargados de formular políticas de investigación agropecuaria, y tomar decisiones sobre planificación estratégica, establecimiento de prioridades, monitoreo y evaluación. Por estas razones, el programa de Indicadores de Ciencia y Tecnología Agropecuaria del Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), con el apoyo del BID, recopiló datos completos de las agencias de investigación y desarrollo agropecuario en los sectores gubernamentales, de educación superior y sin fines de lucro para el período 2017-2020 en diez países, predominantemente, centroamericanos y andinos, incluidos Belice, Bolivia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y Perú. Estos nuevos datos se fusionaron con los conjuntos de datos ASTI

existentes para estos países y para otros países de la región para brindar una visión más completa del estado y la dirección de la I+D agropecuaria en ALC, y su impacto en los sistemas alimentarios de la región.

El objetivo de este informe es presentar un análisis integral y detallado de los desarrollos recientes en el gasto, la capacidad y los resultados de la investigación agropecuaria en ALC. El informe explora los diversos factores que influyen en el desempeño de los sistemas de investigación agropecuaria en la región y su correlación con el nivel general de capacidad de innovación y desarrollo del sistema alimentario de un país. El análisis está organizado en tres partes principales para proporcionar un enfoque estructurado. La primera parte ofrece una descripción general del entorno en el que se produce la I+D agropecuaria (Sección 2) y examina las tendencias recientes en el gasto en I+D agropecuaria en diez países, utilizando datos ASTI actualizados (Sección 3). La segunda parte (Sección 4) lleva a cabo un análisis comparativo de la capacidad de investigación y la inversión a partir de datos históricos y actualizados de la base de datos ASTI para identificar las fortalezas y debilidades de los sistemas de investigación agropecuaria en la región. En la tercera parte del análisis (Sección 5), el enfoque cambia al análisis de la conexión entre el desempeño de los sistemas de investigación agropecuaria y el crecimiento de ese sector, identificando la contribución de la inversión pública en I+D y los efectos indirectos del conocimiento al crecimiento de la producción y la productividad. La discusión final (Sección 6) consolida los hallazgos claves derivados del análisis y explora las implicaciones para la investigación agropecuaria en ALC. Es importante destacar que concluye que muchos de los desafíos identificados por Trigo *et al.* (2013) persisten hasta el día de hoy, lo que subraya la relevancia continua de sus recomendaciones hechas hace una década.



/2/

CONTEXTO:
CAPACIDAD DE
INNOVACIÓN Y
EL SISTEMA
ALIMENTARIO

Esta sección explora dos componentes cruciales que ayudan a comprender los factores que afectan el gasto público en I+D agropecuaria: el desarrollo del sistema alimentario de un país y su capacidad de innovación. La cuantificación de estos dos factores proporciona información útil sobre las implicaciones más amplias para los sistemas de I+D, que se analizarán con más detalle.

Para evaluar el avance y la complejidad de los sistemas alimentarios en diferentes países, Nin-Pratt y Stads (2023) construyeron un índice de desarrollo del sistema alimentario (FSDI, por sus siglas en inglés) que lo mide a partir de la finca, de la cosecha y del consumo. A nivel de finca, se supone que la intensidad de capital, el valor del capital y los insumos comprados por trabajador (equipos de riego, semillas, fertilizantes, insecticidas, herbicidas, tractores y cosechadoras, y fumigadores) están positivamente correlacionados con la adopción de tecnologías mejoradas y con la integración de los agricultores con los mercados de producción e insumos, mejor acceso a los mercados financieros y a los servicios de producción. El segundo subíndice cuantifica el desarrollo del segmento posterior a la explotación agropecuaria del sistema alimentario y mide la longitud y el alcance de la cadena de valor, la calidad del suministro local, el desarrollo de grupos industriales, la sofisticación del producto, el alcance de la comercialización y la presencia de un sector formal de comercio minorista. Un valor alto del índice representa vínculos más fuertes entre los agricultores, el segmento posterior a la finca y los consumidores finales, además de la diferenciación del producto, mayor importancia de la calidad del producto y las normas de seguridad alimentaria. Por el lado de la demanda, el índice mide los cambios en la diversidad de la dieta (proporción de alimentos básicos) y el consumo de proteína animal, lo que brinda información sobre la evolución de los hábitos dietéticos de un país. Ver **Anexo A** por más información sobre el FSDI.

La figura 1a ilustra disparidades significativas en el desarrollo del sistema alimentario entre los países de ALC. Argentina, Brasil, Uruguay, Costa

Rica, Chile y México tienen los sistemas alimentarios más avanzados, mientras que Honduras, Belice, Guatemala, Perú, Nicaragua y Bolivia tienen los menos desarrollados. Los valores de FSDI para la República Dominicana, Panamá, Colombia, Ecuador y Paraguay se encuentran entre estos dos grupos. A pesar de las similitudes generales en el desarrollo de la cadena de valor en los países de ALC (figura 1b), las diferencias en el desarrollo del sistema alimentario se atribuyen, principalmente, a las diferencias en la demanda de alimentos y en la intensidad del capital en la agricultura.

El índice de capacidad de innovación (ICI) desarrollado por Nin-Pratt y Stads (2023) comprende cuatro subíndices. El primer subíndice, educación y capital humano, evalúa la matrícula en todos los niveles educativos. El segundo subíndice, capacidad de investigación, evalúa el desempeño general de un país en ciencia, incluidas métricas como el número de publicaciones en varios campos como ingeniería, informática, bioquímica, genética y biología molecular; y el índice H, que se utiliza para medir el impacto y el rendimiento de la producción académica. El tercer subíndice, entorno de innovación, evalúa el nivel de competencia en los mercados locales, el desarrollo de los servicios financieros, el acceso al crédito y la inversión en I+D, y formación del personal. Finalmente, el cuarto subíndice, calidad de las instituciones, captura seis amplias dimensiones de la gobernabilidad, incluyendo voz y rendición de cuentas, estabilidad política y ausencia de violencia/terrorismo, efectividad del gobierno, calidad regulatoria, Estado de derecho y control de la corrupción. Ver **Anexo A** por más información sobre el ICI y sus subíndices.

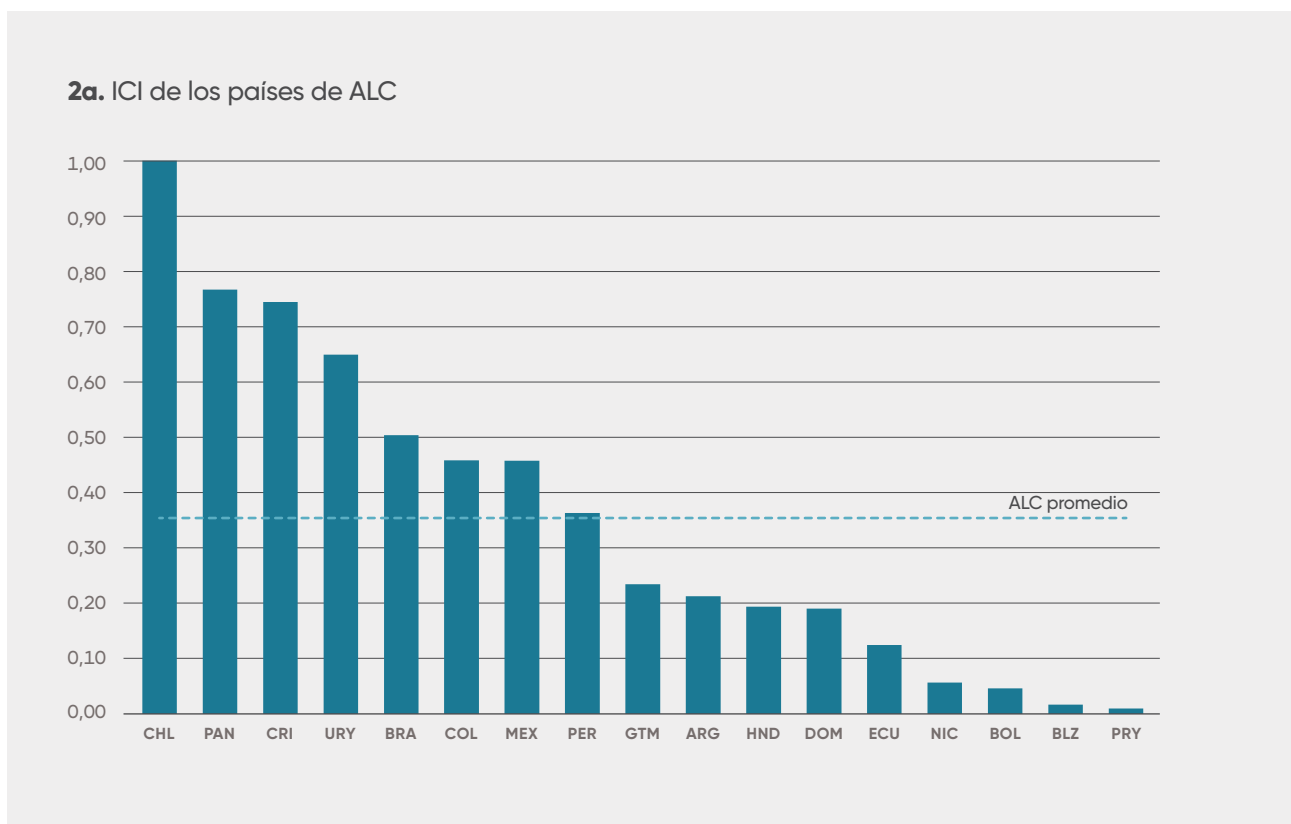
Figura 1. Desarrollo del sistema alimentario en América Latina y el Caribe



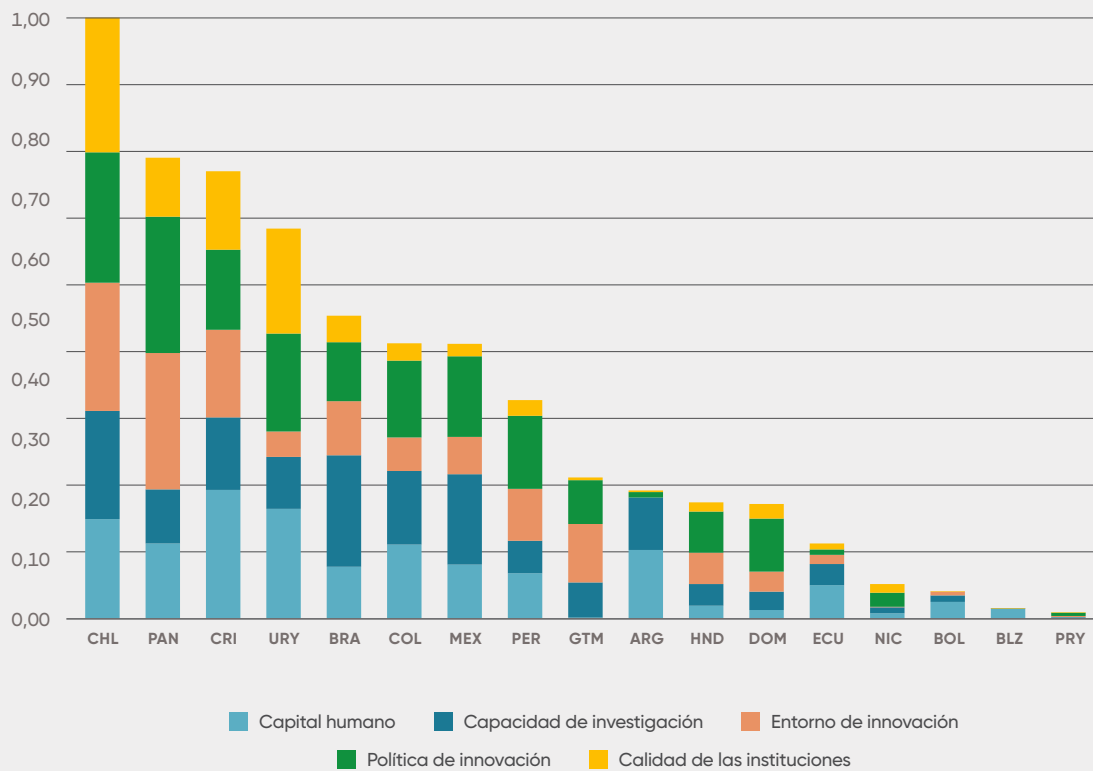
Como se muestra en la **figura 2a**, la capacidad de innovación de los diferentes países de ALC varía considerablemente. Chile encabeza el ICI en la región, seguido por tres países relativamente pequeños –Panamá, Costa Rica y Uruguay– con valores de ICI de alrededor de 0,7. Estos cuatro líderes en innovación son seguidos por algunas de las economías más grandes de la región (Brasil, Colombia y México), cada una con valores de ICI cercanos a 0,5. Por otro lado, Nicaragua, Bolivia, Belice y Paraguay registraron los puntajes más bajos del ICI. Además, Guatemala, Honduras, República Dominicana y Ecuador registraron puntajes ICI por debajo del promedio

regional de 0,35, siendo Argentina una presencia inesperada en este grupo. Un análisis más detallado del ICI desagregado indica que los países con puntajes ICI por encima del promedio regional tienen niveles más altos de capital humano y capacidad de investigación que los que están por debajo del promedio (**figura 2b**). Las disparidades en el entorno de innovación, la política de innovación y la calidad institucional explican las diferencias entre el líder en innovación, Chile, y otros países que obtienen valores de ICI por encima del promedio. Estos factores también explican las clasificaciones relativamente bajas de Brasil y, en particular, Argentina.

Figura 2. Capacidad de Innovación en ALC



2b. ICI desagregados de los países de ALC

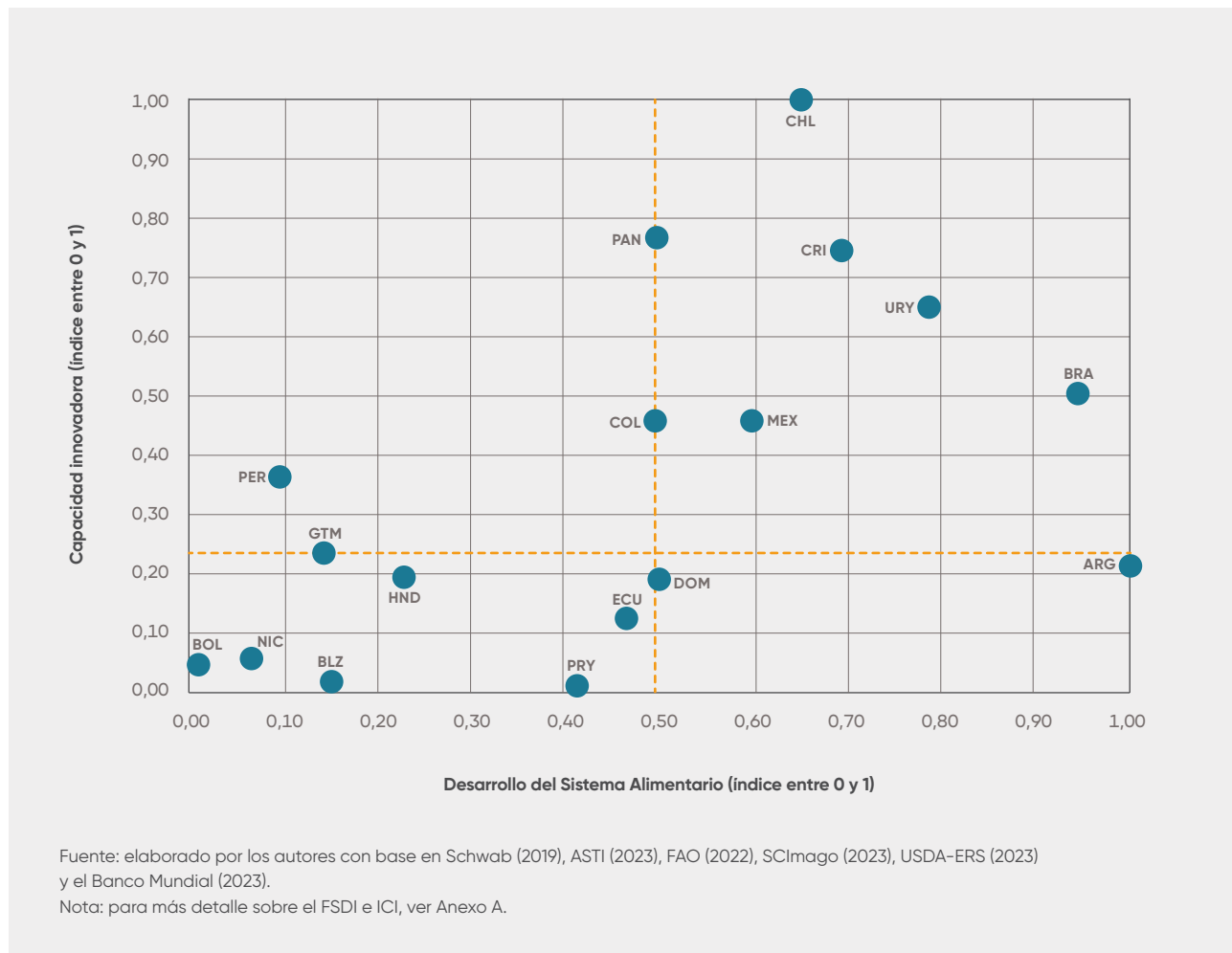


Fuente: elaborado por los autores con base en Schwab (2019), ASTI (2023), SCImago (2023), USDA-ERS (2023) y el Banco Mundial (2023).
 Notas: para obtener más detalles sobre el FSDI, consulte Nin-Pratt y Stads (2023) y el Anexo A.

La innovación y los sistemas alimentarios están, en gran medida, interconectados porque los factores que influyen en la capacidad de innovación de un país son, precisamente, aquellos que determinan el desarrollo de su sistema alimentario. La figura 3 muestra esta correlación positiva entre los valores de FSDI y del ICI en ALC. La mayoría de los países de ALC se ubican en uno de los dos cuadrantes definidos por los valores medios de los índices. El grupo de países con bajo desarrollo del sistema alimentario y baja capacidad de innovación incluye a Belice, Bolivia, Ecuador, Honduras, Nicaragua y Paraguay. Además, los puntajes de Guatemala y Perú son

bajos en el desarrollo de sistemas alimentarios y promedio en la capacidad de innovación, mientras que República Dominicana tiene puntajes bajos en la capacidad de innovación y promedio en el desarrollo de sistemas alimentarios. Los países con alto desarrollo del sistema alimentario y alta capacidad de innovación incluyen a Brasil, Chile, Costa Rica, México y Uruguay. Además, los puntajes de Panamá y de Colombia son altos en capacidad de innovación y promedio en el desarrollo de sistemas alimentarios, mientras que los de Argentina son moderados en la capacidad de innovación y altos en el desarrollo de sistemas alimentarios.

Figura 3. Desarrollo de sistemas alimentarios frente a la capacidad de innovación



/3/

**SISTEMAS DE
INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA
EN AMÉRICA LATINA
Y EL CARIBE:
TENDENCIAS Y
DESAFÍOS RECIENTES**



Como se observó en la figura 2b, existen diferencias significativas en el capital humano y la capacidad de investigación entre los países de ALC. Chile, Costa Rica, Brasil, Uruguay, Colombia, México, Panamá y Argentina obtienen puntajes altos en estas dos áreas, y estos factores contribuyen al mayor desarrollo general de sus sistemas nacionales de ciencia e investigación. Considerar las diferencias en el capital humano, la investigación y la capacidad de innovación es crucial al evaluar el desempeño general de los sistemas de investigación agropecuaria en la región.

Esta sección ofrece una actualización de los hallazgos de Stads *et al.* (2016) sobre la capacidad e inversión en I+D agropecuaria. Se enfoca en diez países de ALC para los cuales el programa ASTI recopiló datos de series temporales para el período 2017–2020: Belice, Bolivia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y Perú.¹ A partir de estos conjuntos de datos actualizados, se proporciona una imagen clara de la capacidad y las tendencias de inversión de estos países con sistemas de I+D relativamente más pequeños, así como los desafíos que enfrentan. Estos hallazgos se compararán luego con los de países con sistemas de I+D agropecuaria más grandes o más avanzados en la Sección 4 de este informe.

En este análisis, la investigación agropecuaria incluye la investigación sobre cultivos, ganadería, silvicultura, pesca y recursos naturales, así como la investigación postcosecha en la finca. Aunque se recopiló datos detallados de un gran número de empresas del sector privado, la cobertura fue insuficiente para permitir que se informara una visión general precisa de la

participación privada de la región en la investigación agropecuaria. **Por lo tanto, los datos y análisis presentados en este informe solo incluyen investigaciones agropecuarias realizadas por el Gobierno, las instituciones de educación superior y los sectores sin fines de lucro.** Para obtener más información sobre el papel del sector privado en la I+D agropecuaria en ALC, consulte el **recuadro 1**.

Este informe se centra únicamente en la capacidad, la inversión y los resultados de la investigación agropecuaria nacional. Por lo tanto, se excluyen los datos sobre las contribuciones de las agencias internacionales o regionales de investigación agropecuaria que operan en ALC, como los centros del CGIAR, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) o el Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). De igual forma, Zamorano es un colegio panamericano con estatus regional. Dado que técnicamente no es una agencia de investigación y desarrollo hondureña, los datos de Zamorano se excluyen de los totales por país de Honduras a lo largo de este informe.²

1. ASTI recopiló datos primarios a través de rondas de encuestas nacionales en estrecha colaboración con puntos focales nacionales basados en institutos nacionales de investigación agropecuario en los diez países de ALC. Estos puntos focales distribuyeron formularios de encuestas detalladas a las principales agencias conocidas por realizar investigaciones agropecuarias en un país determinado, incluidas aquellas del sector gubernamental, sin fines de lucro y de educación superior. Aunque las empresas privadas también fueron el objetivo, la tasa de respuesta general del sector privado fue demasiado baja para producir resultados útiles.

2. Zamorano es más grande que cualquier agencia individual de investigación y desarrollo agropecuario de Honduras respecto del personal de investigación. En 2020, Zamorano empleó a sesenta y dos investigadores agropecuarios ETC, considerablemente más que la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria de Honduras (DICTA; 17 ETC in 2020) y la Fundación Hondureña de Investigación Agropecuaria (FHIA; 43 EJC en 2020) (Stads y De los Santos, 2023).

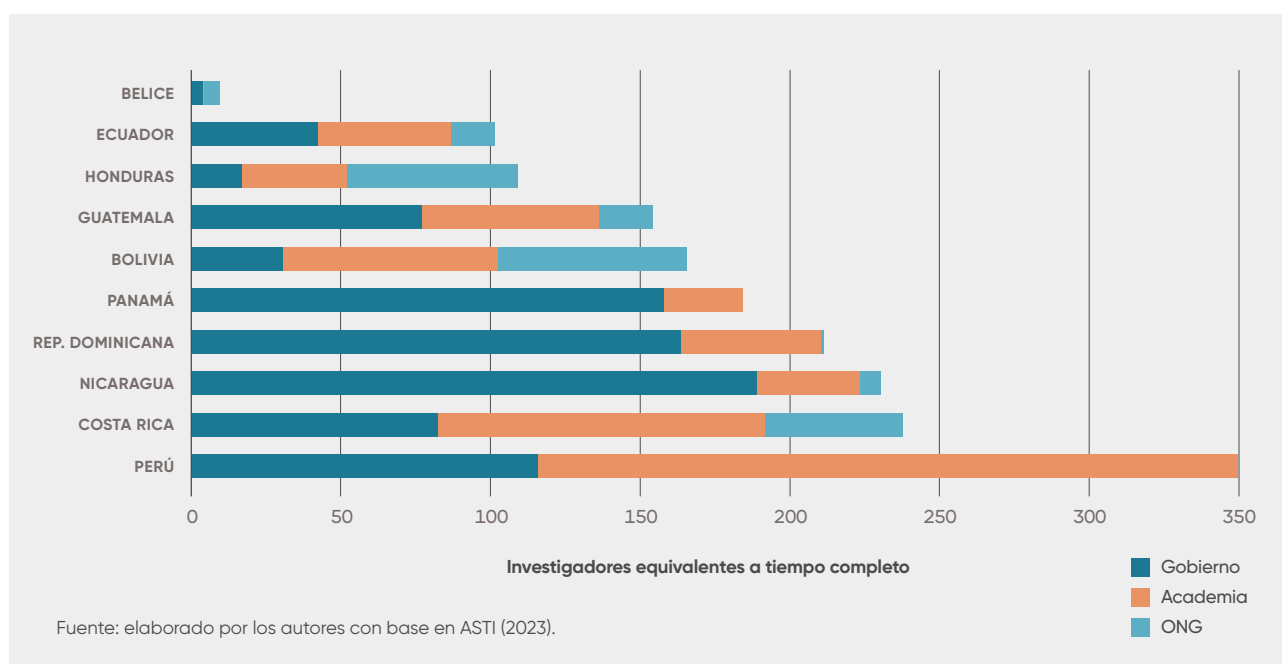
3.1. Composición institucional de la I+D agropecuaria

El panorama de la I+D agropecuaria³ en ALC es muy complejo y comprende una gran cantidad de agencias de investigación gubernamentales, de educación superior, sin fines de lucro, privadas e internacionales.⁴ Vale la pena señalar que los sistemas de investigación agropecuaria varían significativamente en tamaño entre países, lo cual no es inesperado dadas las diferencias sustanciales en el tamaño de sus economías y poblaciones. Entre los diez países cubiertos en esta sección, Perú tiene el sistema de investigación agropecuaria más grande, ya que emplea a trescientos cincuenta investigadores equivalentes a tiempo completo (ETC) en 2020.

En toda la región, el sector gubernamental es el principal empleador de investigadores agropecuarios, con el 50% de los investigadores en

los diez países combinados trabajando para agencias gubernamentales de investigación y desarrollo en 2020. El sector de la educación superior empleó al 38% de los investigadores agropecuarios, mientras que las agencias sin fines de lucro emplearon a 12% (figura 4). Sin embargo, existe una variación significativa entre los países. Por ejemplo, Perú se destaca de la mayoría de los países de América Latina (y más allá) en que su sector de educación superior desempeña un papel mucho más importante en la I+D agropecuaria que el sector gubernamental. En contraste, Panamá, la República Dominicana y Nicaragua tienen una participación limitada del sector de educación superior en la I+D agropecuaria. Bolivia y Honduras se diferencian de muchos de sus homólogos latinoamericanos en que sus sectores de educación superior y sin fines de lucro desempeñan un papel importante en el sistema de investigación agropecuaria.

Figura 4. Composición institucional de la investigación agropecuaria pública, 2020



3. La I+D agropecuaria incluye la investigación sobre cultivos, ganadería, silvicultura, pesca y recursos naturales, así como la investigación poscosecha dentro de la finca.

4. El sector privado (con fines de lucro) se excluye del análisis de este informe porque no se pudo acceder a los datos de muchas empresas privadas. También se excluyen los datos sobre las contribuciones de la I+D agropecuaria internacional que opera en la región, como los centros del CGIAR.

Recuadro 1. Sector privado en I+D agropecuaria del en América Latina y el Caribe

En América Latina, la investigación y el desarrollo agropecuario privados han ganado un impulso significativo en las últimas décadas, particularmente, en las naciones más desarrolladas de la región. La diversificación de la producción agropecuaria, las cadenas de valor más sofisticadas junto con mercados tecnológicos y de conocimiento más complejos han empujado a las empresas privadas a invertir más en I+D. El sector privado ha contribuido considerablemente en los avances en variedades de cultivos, tecnologías agropecuarias, insumos y sistemas de manejo y procesamiento poscosecha, lo que fortaleció así la posición de ALC en los mercados globales. Desafortunadamente, no se dispone de datos completos de inversión para las empresas privadas de la región, lo que dificulta cuantificar las inversiones privadas frente a las públicas o proporcionar información sobre los desarrollos a lo largo del tiempo.

En general, **el sector privado desempeña un papel más destacado en la I+D agropecuaria en los países más grandes o más avanzados de ALC, incluidos Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, México y Uruguay, que en muchas de las naciones más pequeñas.** En Brasil, por ejemplo, las empresas privadas han contribuido sustancialmente al desarrollo de variedades nuevas y mejoradas de soja, maíz, caña de azúcar, frutas y hortalizas, mientras que, en Argentina, las empresas locales han surgido como actores principales en la I+D de semillas de soja y maíz. Además, el sector privado ha sido el impulsor clave detrás del lanzamiento de nuevas variedades hortícolas en Chile, Colombia y México, especialmente, para uvas, aguacates y hortalizas.

Costa Rica se ha convertido en un centro importante para la I+D privada debido a la agrupación de empresas multinacionales como Chiquita Brands International y Dole, que han establecido importantes centros de investigación en el país. La investigación de Chiquita se centra en la mejora genética, la poscosecha y la protección de cultivos del banano, mientras que Dole realiza investigaciones sobre la fisiología relacionada con la fruta, la mejora genética, el biocontrol y la micropropagación. Ambas empresas también son miembros de CORBANA, una organización sin fines de lucro que defiende los intereses de los productores de banano costarricenses.

De manera similar, Starbucks estableció su planta global de investigación y desarrollo de café de 240 ha en Costa Rica, en 2013.

En países más pequeños o menos avanzados de ALC, la inversión privada en I+D suele ser más limitada y las agencias públicas o los aportes externos siguen siendo sus principales fuentes de nuevas variedades o tecnologías. Por ejemplo, los productores de banano guatemaltecos dependen en gran medida de la investigación realizada por Chiquita y Dole en Costa Rica. Grandes corporaciones globales como Cargill, Monsanto y Syngenta han establecido importantes instalaciones de I+D en ALC y colaboran estrechamente con universidades e instituciones de investigación locales. Skretting, un actor mundial en alimentos acuícolas, ha establecido un centro de investigación en Ecuador para desarrollar innovaciones nutricionales para camarones, y un número cada vez mayor de empresas biotecnológicas están realizando I+D en Costa Rica, Guatemala, Honduras y República Dominicana. A pesar de que algunas multinacionales sostienen operaciones de investigación considerables en algunos países más pequeños, la inversión de las empresas locales tiende a ser más restringida. En lugar de realizar investigaciones internas, muchas de estas agroindustrias, a menudo, subcontratan sus necesidades de I+D a agencias de investigación del gobierno local o de universidades.

En un esfuerzo por estimular la inversión privada en investigación agropecuaria, los Gobiernos de ALC han implementado varios incentivos. Estos incluyen **exenciones del impuesto sobre la renta y desgravaciones fiscales para gastos de capital en I+D, así como requisitos para la participación privada en proyectos financiados a través de fondos competitivos para promover la viabilidad comercial.** Algunos países han ido un paso más allá al establecer centros nacionales de innovación que facilitan la colaboración y el intercambio de conocimientos entre entidades públicas y privadas. Un ejemplo es la Ciudad del Saber en la Ciudad de Panamá, que alberga a más de doscientas organizaciones, incluidas universidades, centros de investigación y empresas privadas. El objetivo es crear un entorno que fomente la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones en el sector agropecuario y más allá.

3.2. Capacidad del recurso humano en I+D agropecuaria

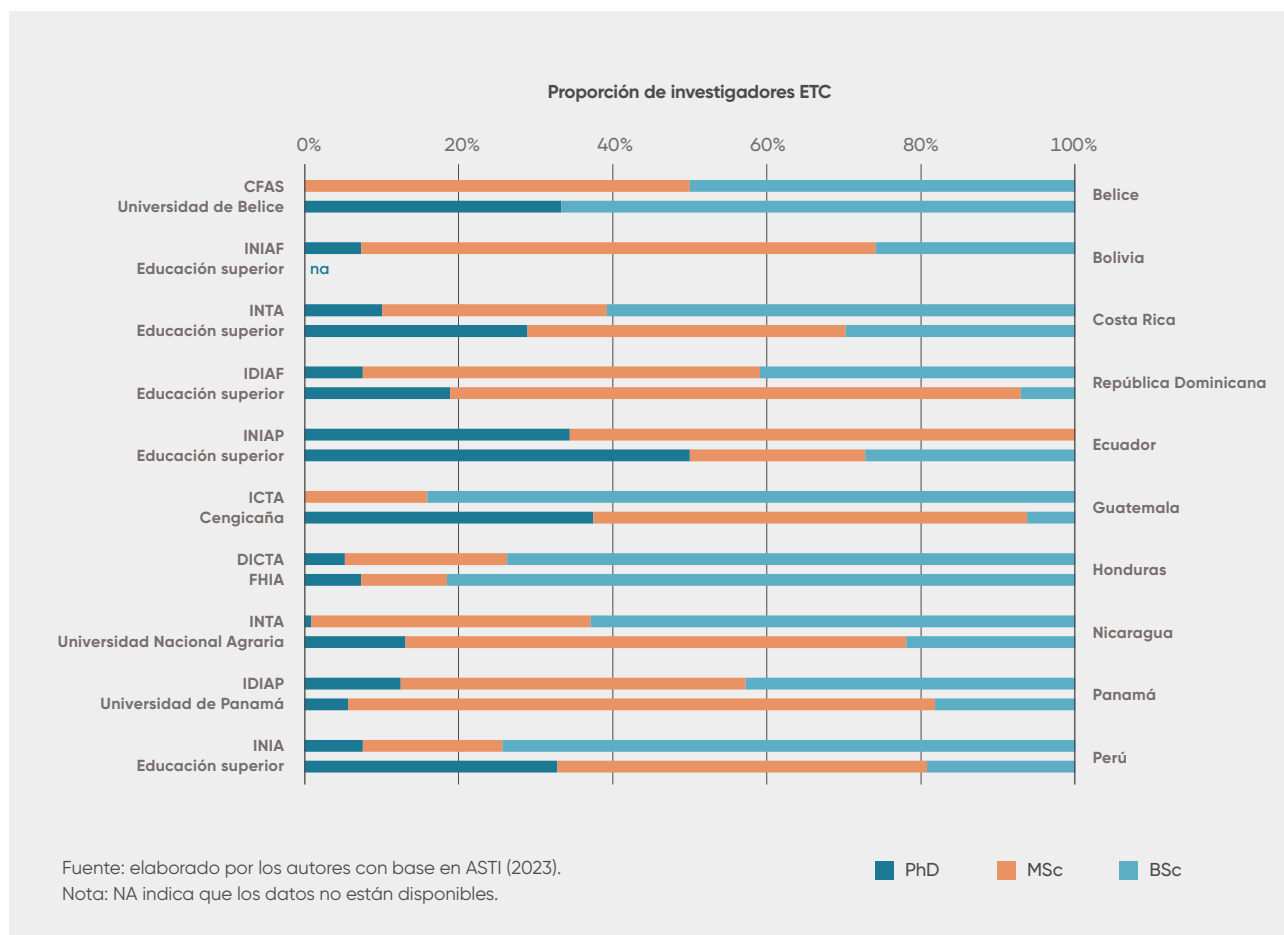
Mientras que la **figura 4** muestra las cifras totales de capacidad de I+D agropecuaria respecto de los investigadores ETC, la **figura 5** se centra en la calidad de esta capacidad al observar más de cerca los niveles de grado de estos investigadores. Los datos revelan que la mayoría de los investigadores agropecuarios en los diez países tienen títulos de licenciatura o maestría, y solo unos pocos investigadores tienen títulos de doctorado. En promedio, los institutos de investigación gubernamentales emplean investigadores con niveles de calificación más bajos que las universidades. En algunos países, la diferencia en el estatus oficial de los científicos gubernamentales y universitarios impide que las agencias gubernamentales ofrezcan salarios y beneficios competitivos, lo que lleva a los investigadores calificados a las universidades y al sector privado. Además, algunos investigadores experimentados han sido reasignados a puestos que no son de investigación, lo que ha dado lugar a brechas críticas en la dotación de personal en los institutos de investigación.

Además, las oportunidades de promoción en las agencias gubernamentales a menudo se basan en la antigüedad más que en el mérito, lo que las convierte en empleadoras poco atractivas para científicos jóvenes y ambiciosos. Estos factores han contribuido a la falta de una masa crítica de investigadores con doctorado en muchos institutos nacionales de investigación agropecuaria. Belice y Guatemala no emplean a ninguno, Honduras solo a uno, y Bolivia y Nicaragua solo a dos (**tabla 1**). Este número extremadamente bajo de doctores es preocupante, ya que se necesita un número mínimo de científicos con doctorado para la concepción, la gestión y la ejecución eficaces de investigaciones de alta calidad, la comunicación con los encargados de formular políticas, los donantes y otras partes interesadas, y la obtención de financiación competitiva. Para abordar estos problemas, se deben establecer condiciones e incentivos apropiados para fomentar el compromiso a largo plazo de los investigadores en las agencias gubernamentales de toda la región. Esto ayudará a atraer y retener a científicos jóvenes y calificados, y garantizará el desarrollo de una sólida fuerza laboral de investigación agropecuaria.

Recuadro 2. Cuantificación del número de investigadores agropecuarios

ASTI basa sus cálculos de recursos humanos y datos financieros en equivalentes a tiempo completo (ETC), que tienen en cuenta la proporción de tiempo que los investigadores dedican a la investigación en contraposición a otras actividades. Los miembros del personal universitario, por ejemplo, dedican la mayor parte de su tiempo a actividades no relacionadas

con la investigación, como la enseñanza, la administración y la supervisión de estudiantes, que deben excluirse de los cálculos de recursos relacionados con la investigación. Como resultado, se estima que cuatro profesores que dedican el 25% de su tiempo a la investigación representarían individualmente 0,25 FTE y colectivamente se contarían como 1 FTE.

Figura 5. Distribución de investigadores agropecuarios por nivel de cualificación, 2020**Tabla 1.** Número de investigadores con doctorado empleados en institutos nacionales de investigación agropecuaria en países seleccionados de ALC, 2012-2013 y 2020

	2012/2013	2020
Belice, CFAS	0	0
Bolivia, INIAF	5	2
Costa Rica, INTA	4	8
República Dominicana, IDIAF	13	10
Ecuador, INIAP	17	21
Guatemala, ICTA	3	0
Honduras, DICTA	1	1
Nicaragua, INTA	6	2
Panamá, IDIAP	11	19
Perú, INIA	8	8

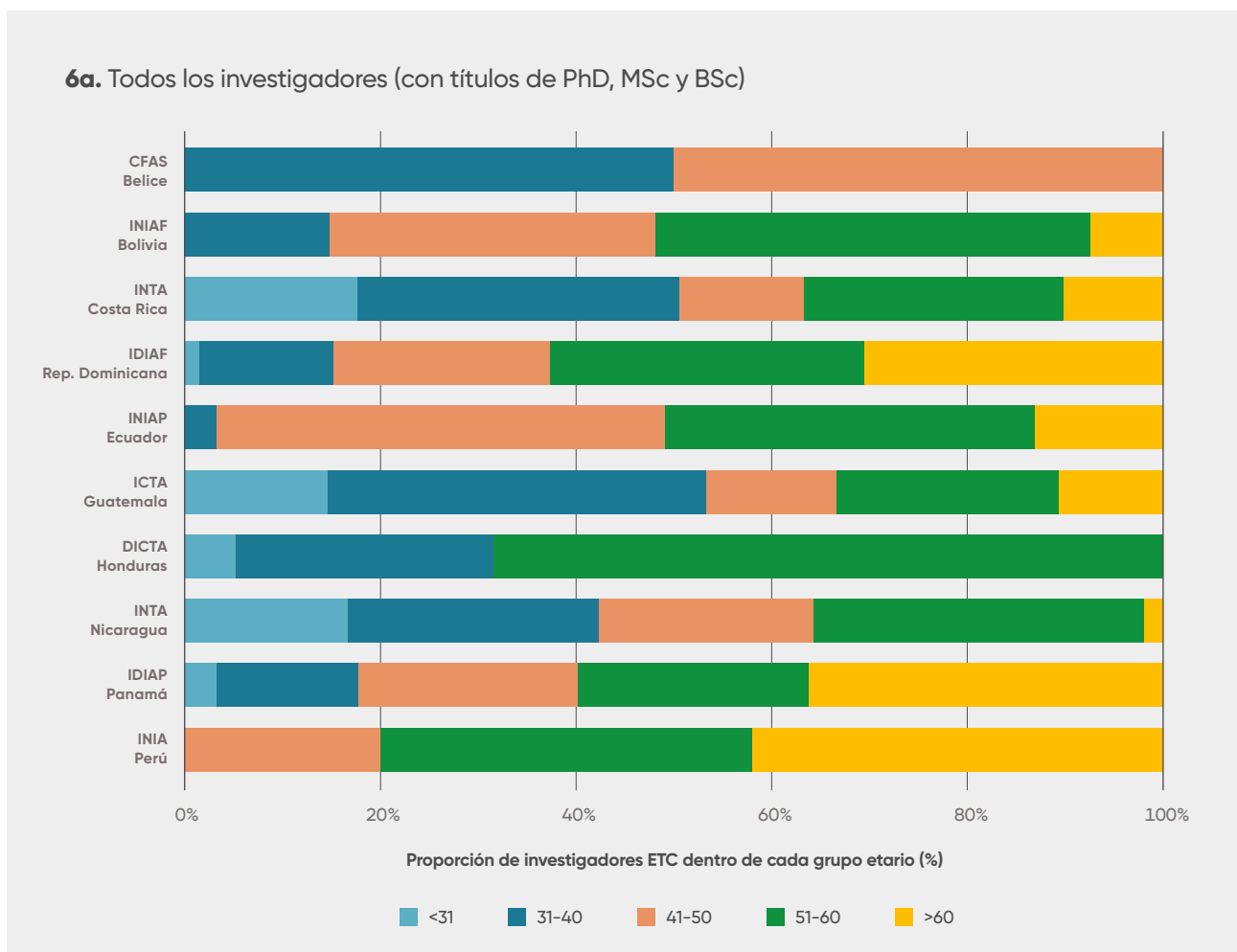
Fuente: elaborado por los autores con base en ASTI (2023).

Nota: los datos de los países de América Central y la República Dominicana son del año 2012. Los datos de Bolivia, Ecuador, y Perú son del 2013.

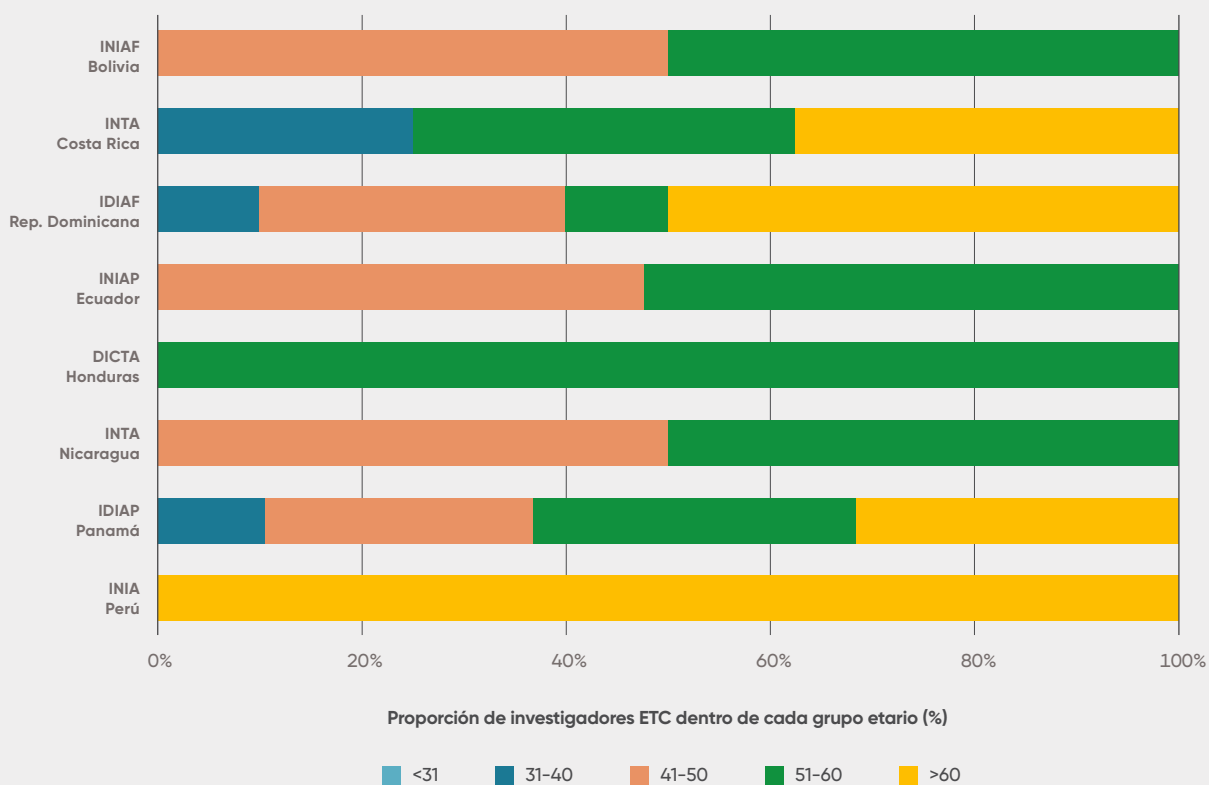
Tras un examen más detallado de la distribución por edades de los investigadores agropecuarios en los diez países, se hace evidente que muchos institutos nacionales de investigación enfrentan el desafío de un grupo de científicos que envejece. En seis de los diez países, más de la mitad de los investigadores tienen más de cincuenta y un años (figura 6a). Dado que la edad oficial de jubilación en la mayoría de estos países es de sesenta o sesenta y cinco años, se espera que un número importante de investigadores senior se jubile en un futuro cercano. Esta situación es particularmente grave en Perú, Honduras y República Dominicana. Un análisis más profundo de la distribución por edades

de los investigadores con títulos de doctorado (comparado con la población total de investigadores) pinta un panorama aún más grave. Dos tercios de los investigadores con títulos de doctorado en los países de la muestra tienen entre cincuenta y sesenta años (figura 6b), lo que subraya la necesidad urgente de planificar la sucesión. Sin una planificación y capacitación adecuadas, muchas agencias en LAC se quedarán sin la experiencia necesaria para liderar programas de investigación y asesorar al personal subalterno. Esto creará brechas significativas en el conocimiento, lo que generará preocupación sobre la calidad de los futuros resultados de la investigación.

Figura 6. Composición por edades de los investigadores agropecuarios con doctorado en institutos nacionales de investigación agropecuaria seleccionados, 2020



6b. Solo investigadores con doctorado

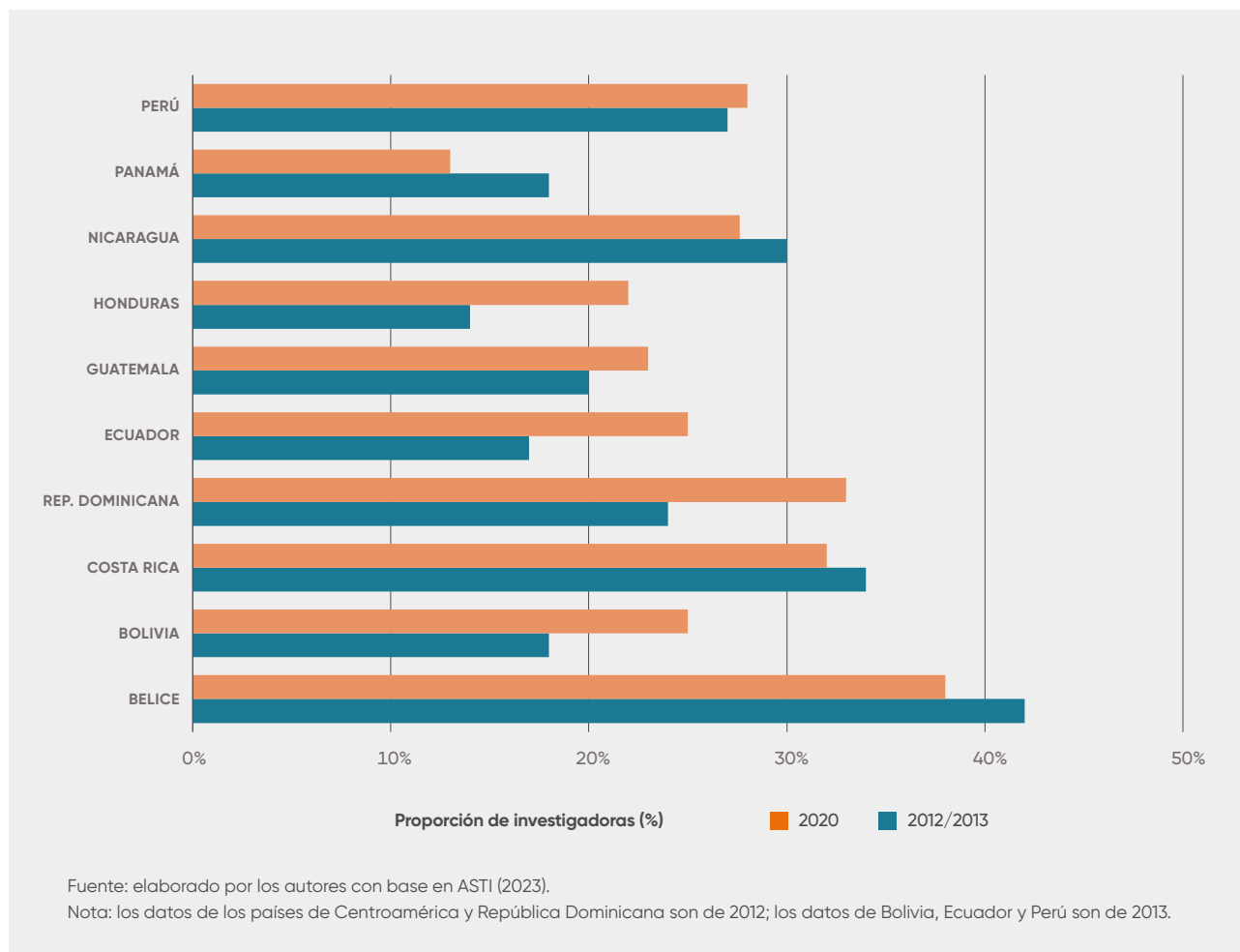


Fuente: elaborado por los autores con base en ASTI (2023).

Nota: se han excluido CFAS (Belice) e ICTA (Guatemala) de la figura 6b porque no emplearon a ningún investigador con doctorado en 2020.

Además de mantener una distribución equilibrada de las edades de los investigadores, es igualmente importante garantizar su distribución sana en función de su género. **Las investigadoras, profesoras y gerentes senior ofrecen ideas y perspectivas diferentes a las de sus homólogos masculinos, lo cual es crucial para abordar los desafíos únicos y apremiantes que enfrentan las mujeres agricultoras en la región.** A pesar del progreso en el aumento de la representación femenina en la I+D agropecuaria en siete de los diez países entre 2012 y 2020, aún persisten disparidades de género significativas en la capacidad de investigación en todos los países, lo que indica que aún

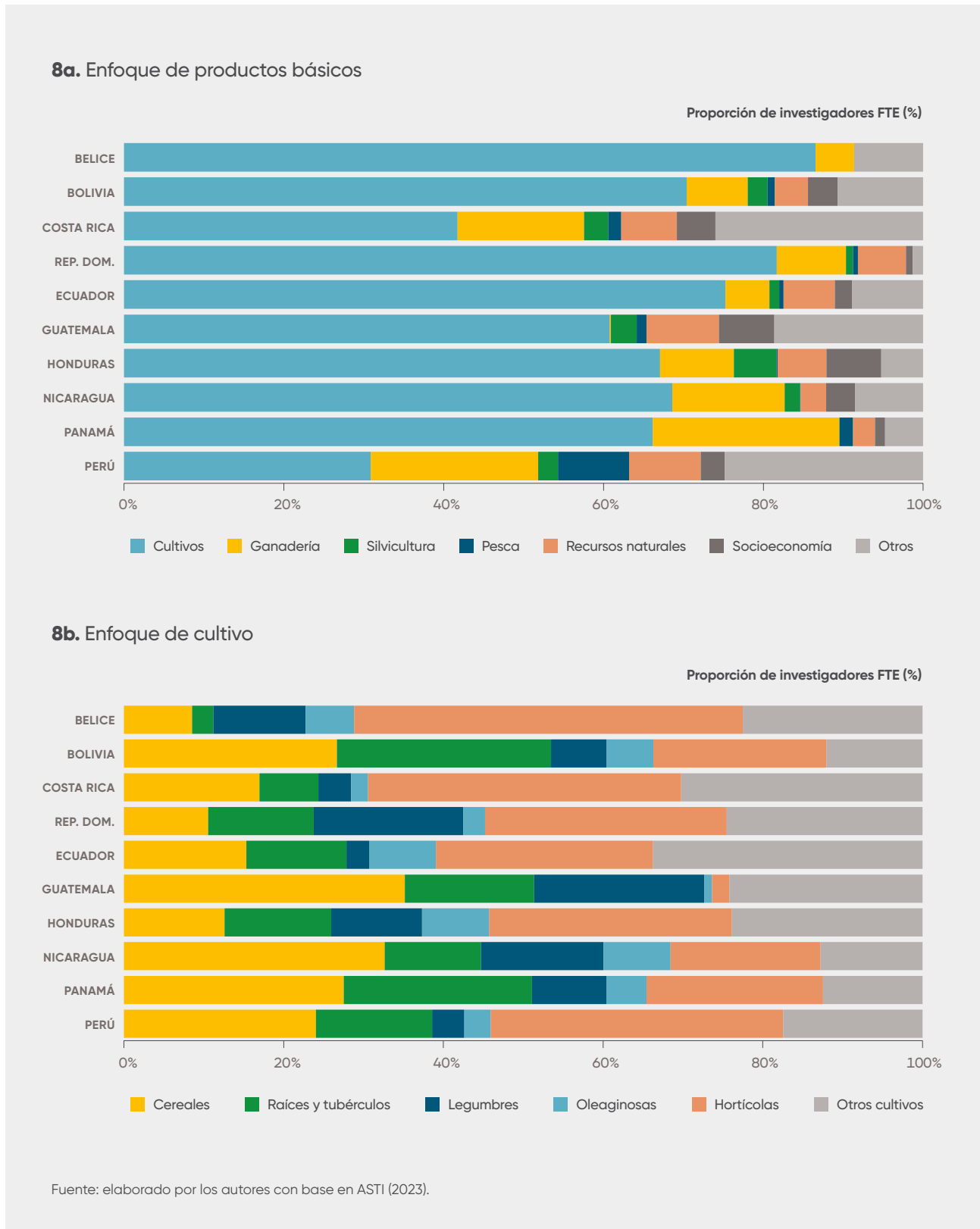
queda mucho por hacer para lograr la igualdad de género. A partir de 2020, la proporción general de mujeres investigadoras agropecuarias en los diez países es de alrededor del 26% (figura 7). Las proporciones más altas se registraron en Belice, República Dominicana y Costa Rica. Sin embargo, se deben hacer esfuerzos para aumentar la representación femenina en la investigación agropecuaria en todos los países para garantizar una fuerza laboral de investigación más diversa e inclusiva. Esto ayudará a generar soluciones más efectivas y relevantes a los desafíos que enfrentan los agricultores, especialmente las mujeres, en la región.

Figura 7. Participación femenina en la investigación agropecuaria, 2012-2013 y 2020

Los Gobiernos y las agencias de investigación agropecuaria en ALC enfrentan limitaciones significativas en la asignación de recursos financieros. No obstante, es fundamental que den prioridad a la financiación y a la dotación de personal para los tipos apropiados de investigación y productos básicos, a fin de garantizar que la I+D agropecuaria tenga un impacto duradero en el crecimiento de la productividad y en la reducción de la pobreza. Con este fin, ASTI ha recopilado información detallada sobre la asignación de investigadores ETC en las áreas de productos básicos. La investigación sobre cultivos fue el foco principal del 59% de los investigadores en la muestra de diez países en 2020, y la investigación

sobre ganadería representó el 13% (figura 8a). El resto de los investigadores dedicó su atención a la silvicultura, la pesca, los recursos naturales, la socioeconómica y otras áreas. En particular, Perú y Costa Rica se diferenciaron de los demás países de la región al adoptar una distribución más equilibrada de las actividades de investigación entre las categorías de productos básicos, en contraste con el enfoque centrado en los cultivos de otros países. Los productos básicos investigados con mayor frecuencia en la muestra de diez países fueron cultivos hortícolas, cereales y raíces, y tubérculos. Sin embargo, hubo variaciones considerables entre países en las prioridades de investigación, como se destaca en la figura 8b.

Figura 8. Enfoque de investigación agropecuaria, 2020



3.3. Gasto en I+D agropecuaria

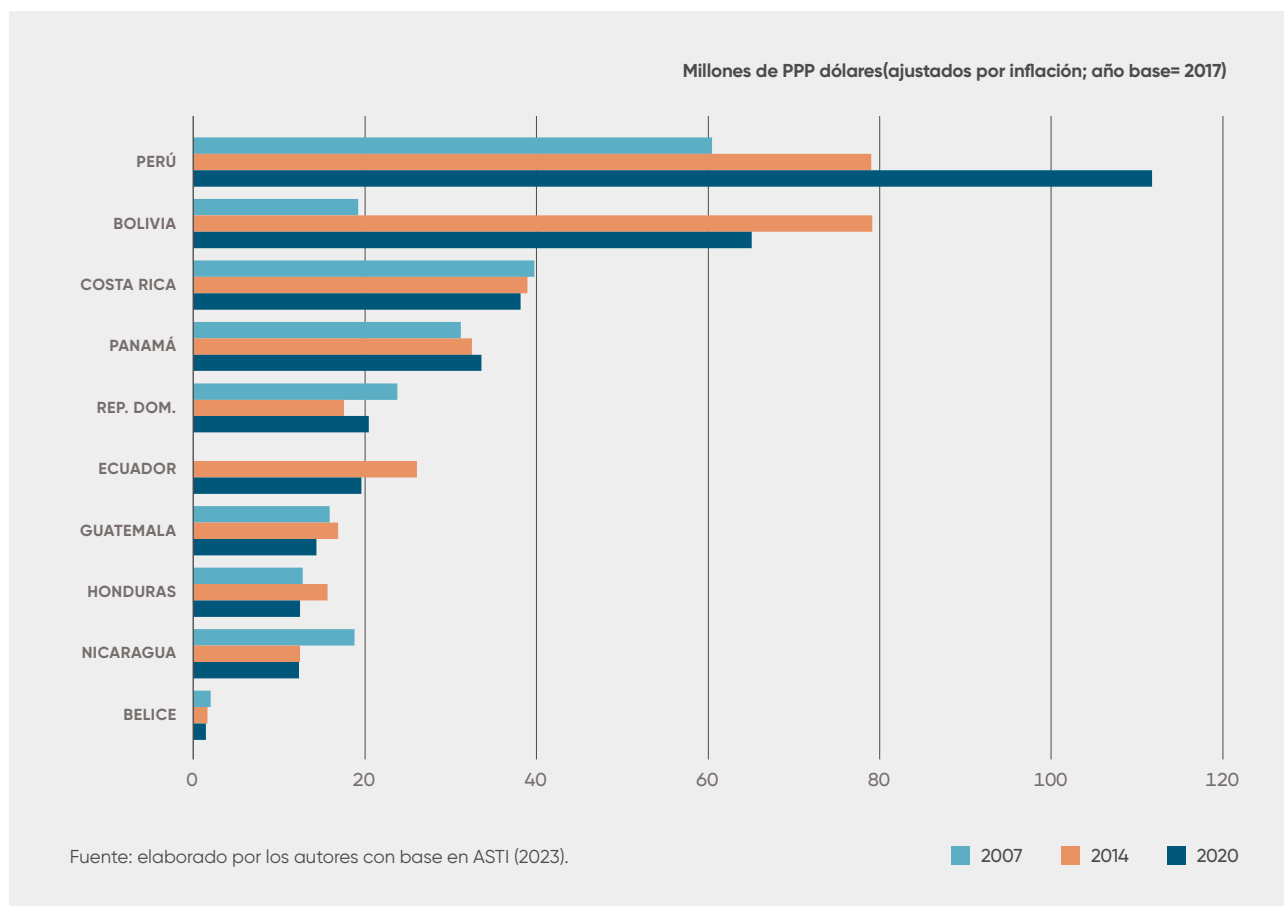
ASTI también recopiló información detallada sobre los recursos financieros asignados a I+D agropecuaria en varios países. Perú fue el único país de la muestra que superó los USD 100 millones (en precios del índice de paridad del poder adquisitivo, PPA, de 2017) en gasto de I+D agropecuaria en 2020, mientras que Bolivia, Costa Rica y Panamá gastaron USD 65 millones, USD 38 millones y USD 34 millones, respectivamente (figura 9). Todos los países restantes invirtieron menos de USD 20 millones en 2020. Durante el período 2007-2020, la inversión colectiva en I+D agropecuaria en los diez países aumentó un 45% en términos ajustados por inflación, lo que indica una tendencia positiva, principalmente, impulsada por Bolivia y Perú. Bolivia triplicó su inversión en I+D agropecuaria, pero este aumento se debió a una gran afluencia de donantes y fondos para el desarrollo, cuya naturaleza volátil resultó en fluctuaciones significativas en los niveles de inversión de un año

a otro. De manera similar, Perú experimentó un crecimiento considerable en el gasto en investigación y desarrollo agropecuario, impulsado en su totalidad por una afluencia de financiamiento a través de préstamos de bancos de desarrollo. Este financiamiento ayudó a fortalecer la I+D agropecuaria del país a través de reformas institucionales, capacitación del personal y subvenciones competitivas para investigación e innovación. En contraste, la mayoría de los demás países de la región reportaron niveles de gasto en I+D agropecuaria relativamente estables o ligeramente decrecientes. Sin embargo, tanto Bolivia como Perú enfrentan el riesgo de volver a los desempeños de crecimiento anteriores, como ha ocurrido históricamente cuando los países reciben un préstamo significativo con plazos fijos y no pueden sostener el crecimiento de la inversión basado en el financiamiento del Gobierno. Sería fundamental monitorear la evolución futura de la inversión en I+D y el desempeño de los sistemas de investigación en estos países.

Recuadro 3. Cuantificación de la inversión en investigación agropecuaria

La comparación de datos sobre gastos de investigación es un proceso muy complejo debido a las importantes diferencias en los niveles de precios entre países. Los componentes más grandes de la inversión de investigación agropecuaria de un país son los salarios del personal y los costos operativos locales, en lugar de las inversiones de capital comercializadas internacionalmente. Por ejemplo, los salarios de un trabajador de campo o de un asistente de laboratorio en un centro de investigación son mucho más bajos en Honduras que en cualquier país europeo; de manera similar, los muebles de oficina fabricados localmente en Bolivia costarán una fracción de un juego de muebles similar comprado en los Estados Unidos. Los tipos de cambio estándar del mercado son la opción lógica para las conversiones cuando se miden los flujos financieros entre países; sin

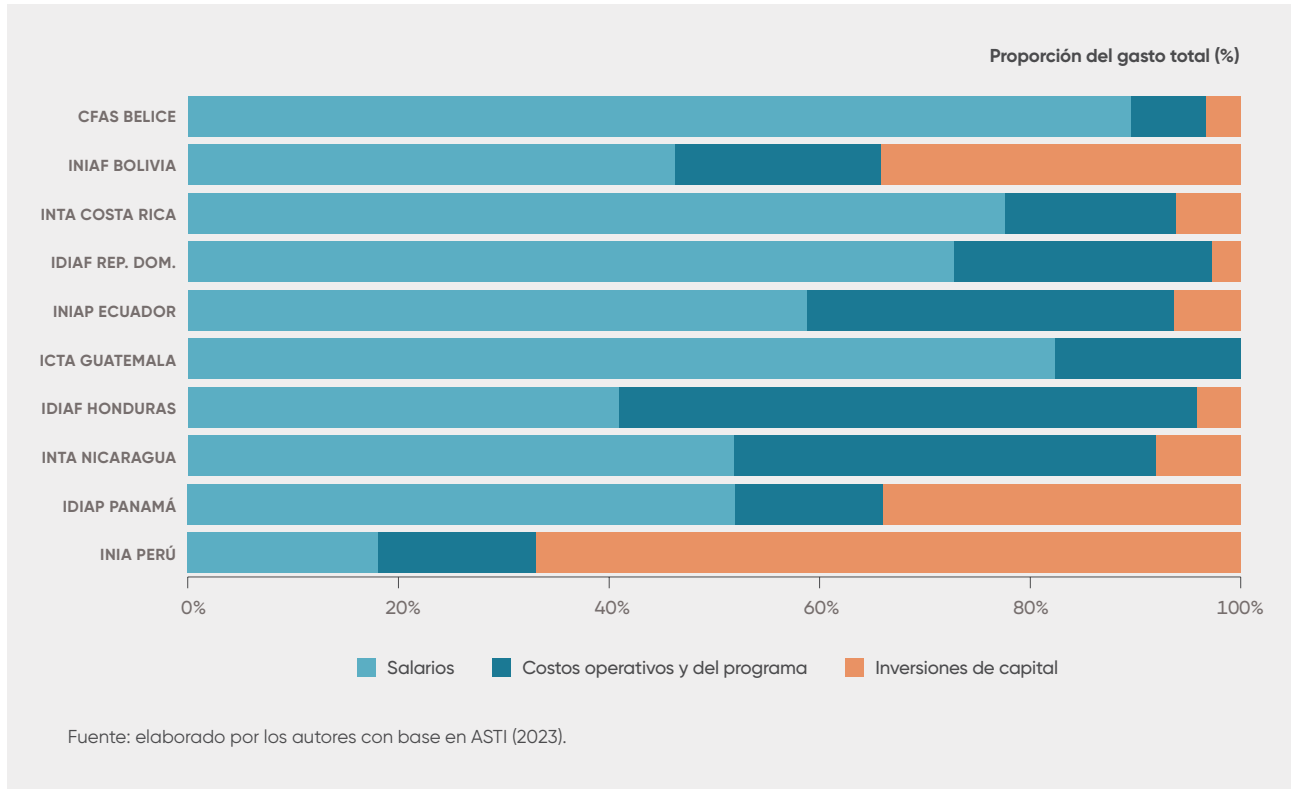
embargo, están lejos de ser convertidores de divisas perfectos para comparar datos económicos. En la actualidad, el método de conversión preferido para calcular el tamaño relativo de las economías u otros datos económicos, como la inversión en investigación agropecuaria, es el índice de paridad del poder adquisitivo (PPA). Las PPA miden el poder adquisitivo relativo de diferentes monedas al eliminar las diferencias nacionales en los niveles de precios para una amplia gama de bienes y servicios. También se utilizan para convertir los precios actuales del PIB en países individuales a una moneda común. Además, **las PPA son relativamente estables a lo largo del tiempo, mientras que los tipos de cambio del mercado fluctúan considerablemente** (por ejemplo, las fluctuaciones en los tipos de cambio del dólar estadounidense y el euro en los últimos años).

Figura 9. Gasto en investigación agropecuaria, 2007, 2014, y 2020

Una mirada más cercana a la composición del gasto en I+D agropecuaria entre los institutos nacionales de investigación agropecuaria revela que la mayor parte del gasto se asignó a costos salariales. Durante 2017-2020, los costos salariales representaron más de dos tercios del gasto total en los institutos nacionales de Belice, Guatemala, Costa Rica y República Dominicana (figura 10). Una vez más, se destacan Perú y Bolivia, ya que gastan una porción más alta de su costo total de I+D en inversiones de capital. Esto no es sorprendente, dado que la gran afluencia de fondos a través de préstamos de bancos de desarrollo en estos países permitió una rehabilitación significativa de la infraestructura de I+D. Panamá también invirtió fuertemente en gastos

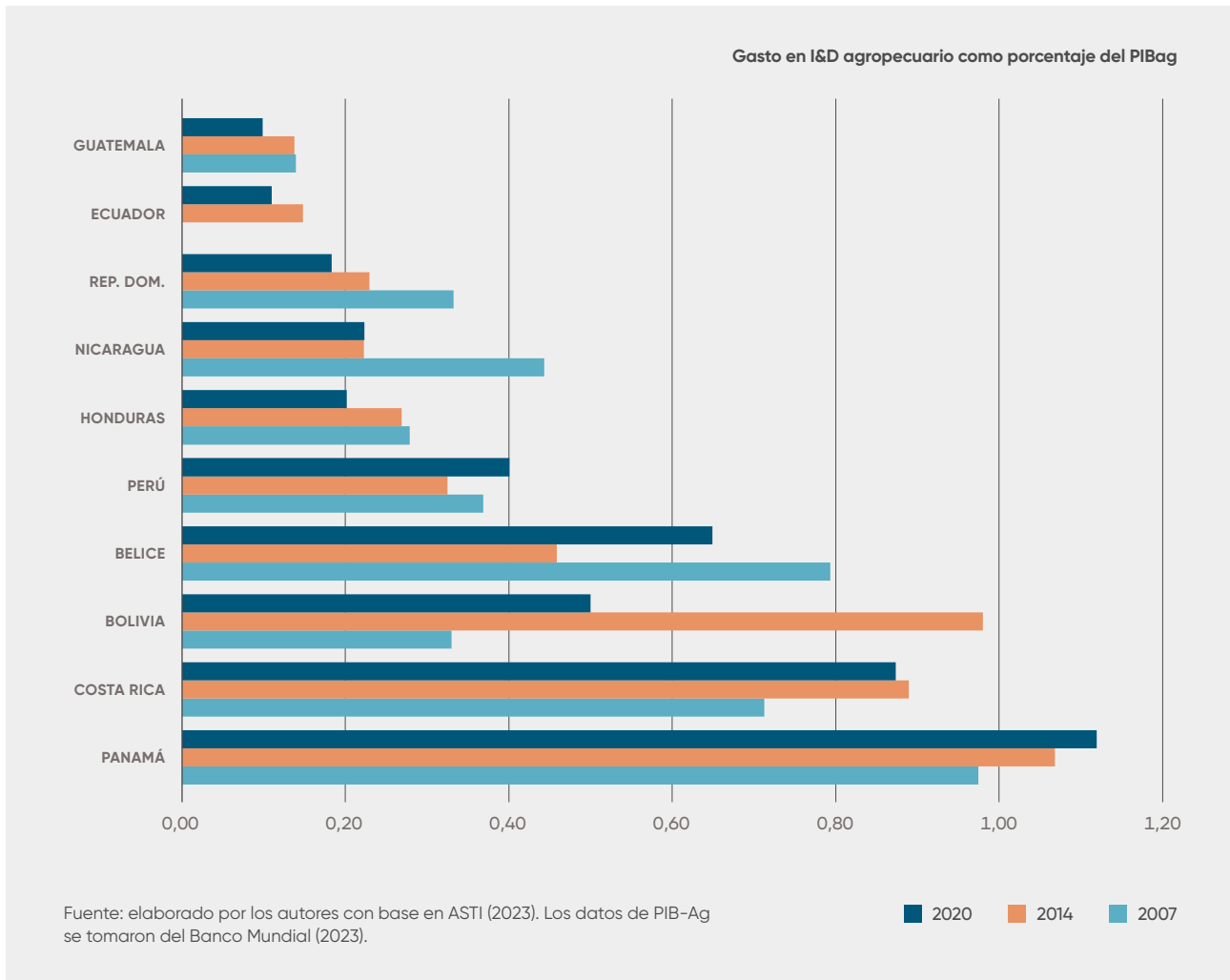
de capital debido a la construcción y equipamiento de la nueva sede de su instituto nacional de investigación agropecuaria.

El análisis de la inversión de investigación en términos absolutos puede proporcionar mucha información. Otra forma de comparar el nivel de compromiso con las inversiones en I+D agropecuaria entre países es midiendo su gasto total como porcentaje del producto interno bruto agropecuario (PIB-Ag). Esta medida relativa se extiende más allá de los niveles absolutos de gasto en I+D agropecuaria e indica la intensidad de las inversiones. Aunque algunas organizaciones internacionales han establecido objetivos de inversión en I+D agropecuaria (algo arbitrarios y universales) de al menos

Figura 10. Distribución del gasto en I+D agropecuaria por categoría de costo, 2017-2020

el 1% del PIB-Ag, solo uno de los diez países de la muestra invirtió más del 1% en 2020. Panamá invirtió el 1,12% de su PIB-Ag en I+D agropecuaria, una mejora significativa con respecto a años anteriores (figura 11). Con un índice de intensidad del 0,87%, Costa Rica también se acercó relativamente a la meta del 1%. Sin embargo, los niveles de inversión en investigación en relación con la producción agropecuaria en todos los demás países fueron considerablemente más bajos, con cinco de los diez países de la muestra invirtiendo menos del

0,25%. Estos bajos niveles de inversión en I+D, a menudo, se consideran inadecuados para abordar de manera efectiva la productividad agropecuaria y otros desafíos que enfrentan las comunidades rurales. Otra tendencia preocupante es que estos países con bajos niveles de inversión han experimentado una disminución constante en sus índices de intensidad de investigación agropecuaria a lo largo del tiempo, lo que indica que el gasto en investigación agropecuaria no se ha mantenido al ritmo del crecimiento de la producción.

Figura 11. Índices de intensidad de la investigación agropecuaria por país, 2007, 2014, y 2020

/4/

CAPACIDAD DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

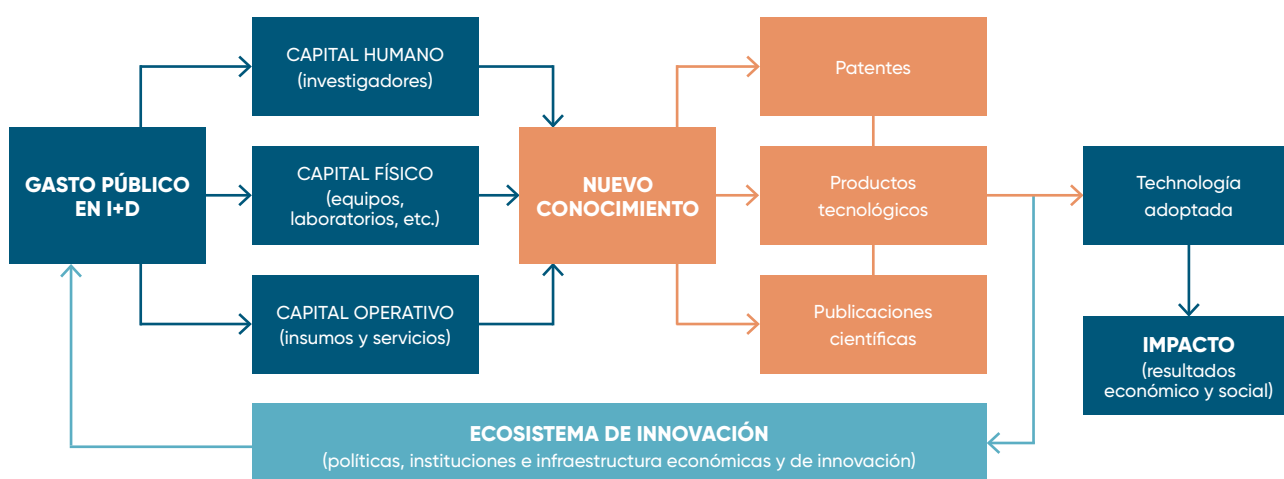


Esta sección tiene como objetivo analizar la capacidad científica y el desarrollo de los sistemas públicos de investigación agropecuaria en ALC, con un enfoque específico en el proceso de producción que genera nuevos conocimientos, como se ilustra en la parte central de la figura 12. Las relaciones entre los resultados de la investigación agropecuaria y su impacto, como se muestra en la parte derecha de esta figura, se explorarán en la Sección 5.

La **figura 12** ilustra el sistema de investigación como una unidad de producción que genera nuevos conocimientos. Los insumos necesarios para que este sistema produzca incluyen la inversión en I+D, que abarca los recursos físicos (maquinaria, laboratorios, equipos) y el capital humano (investigadores), así como el capital operativo utilizado para adquirir insumos como productos químicos y cubrir servicios como la electricidad. Lo obtenido de este proceso productivo puede clasificarse en productos directos de investigación (publicaciones científicas y patentes) y productos tecnológicos. Las publicaciones son un subproducto de los productos tecnológicos y contribuyen al avance del conocimiento científico al formalizar y hacer públicos los avances en diferentes campos de investigación. Los productos tecnológicos pueden adoptar la forma de bienes tangibles, en los que el conocimiento recién generado se incorpora a un producto

físico, como semillas mejoradas o nueva maquinaria. Alternativamente, los productos tecnológicos pueden ser intangibles o de "conocimiento puro", como prácticas novedosas de gestión de recursos que mejoran la producción sin aumentar sus costos. Es importante señalar que la investigación por sí sola no tiene un impacto en la economía a menos que los productores adopten productos tecnológicos y los transformen en innovaciones, traduciendo así el conocimiento en valor económico. Sin embargo, no todos los productos tecnológicos se convierten automáticamente en innovaciones. El entorno de innovación externo desempeña un papel importante a la hora de facilitar o impedir el proceso de innovación (Guan y Chen, 2012; Geisler, 1995; Pakes y Griliches, 1980). Además, la falta de innovación también puede atribuirse a problemas en el sistema de investigación, como la falta de demanda de las tecnologías producidas.

Figura 12. El proceso de innovación agropecuaria



La **tabla 2** presenta varios aspectos del desempeño del sistema de investigación, destacando sus vínculos con los factores ambientales. El primer conjunto de indicadores se centra en la relación entre los productos y los insumos utilizados para producir nuevos conocimientos. Estos indicadores incluyen los costos por unidad de producto, la productividad del investigador y el gasto total por investigador. El indicador de capital humano considera el número y la calificación de los investigadores dentro del sistema, mientras que la estructura de costos y la relación entre capital humano y físico inciden en el proceso productivo. Factores como los salarios, los gastos operativos y los costos del programa son determinantes cruciales del desempeño del sistema de investigación. El desempeño general del sistema de investigación también está influenciado por su escala, que afecta los costos, la productividad y la calidad de los resultados. Si bien la escala máxima del sistema de investigación está restringida por factores estructurales como el tamaño de la economía, el sector agropecuario, la demanda de innovación y el nivel de desarrollo económico, los países todavía tienen opciones para definir el tamaño de su sistema de I+D dentro de esos límites. Dado que los datos sobre los productos tecnológicos no están disponibles para las comparaciones de países a este nivel, utilizamos las publicaciones científicas

como sustituto de los productos de la investigación. Como las publicaciones son un subproducto de los productos tecnológicos, sirven como un indicador que refleja la productividad y la calidad de la investigación realizada en un país.

Para evaluar el desempeño general de los sistemas nacionales de I+D agropecuaria en ALC, esta sección se basa en dos fuentes de datos principales. La primera es la base de datos ASTI del IFPRI, que ofrece información completa sobre la estructura institucional, la capacidad, los gastos y la estructura de financiamiento de los sistemas de investigación agropecuaria. ASTI, como ya se mencionó, actualizó la base de datos para diez países de ALC (Belice, Bolivia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y Perú) con el apoyo del BID (como se analiza en la Sección 3). Los datos ASTI disponibles para el resto de los países de ALC solo cubren el período hasta 2013. Para estimar los niveles de inversión en I+D agropecuaria de estos países en años más recientes, se realizaron extrapolaciones basadas en las tasas de crecimiento anual de su PIB agropecuario. Complementando los datos de ASTI, la información detallada sobre el número total y la calidad de las publicaciones científicas en ciencias agropecuarias y biológicas a nivel país se obtiene de SCImago (2023),

Tabla 2. Factores que contribuyen al desempeño de la producción de conocimiento científico en la agricultura

FACTOR	DESCRIPCIÓN
Escala	Tamaño del sistema de investigación, masa crítica.
Relación insumo-producto	Costo por artículo publicado, productividad de los investigadores, gasto por investigador.
Capital humano	Número y cualificación de los investigadores.
Mezcla de insumos, estructura de costos	Relaciones entre el capital humano, físico y operativo.
Composición institucional de la I+D pública	Asignación del gasto nacional en I+D entre las agencias gubernamentales de investigación, las Instituciones de educación superior y las agencias sin fines de lucro.
Factores ambientales	Desarrollo del sistema nacional de I+D, calidad de la educación, acceso a la educación superior, política de innovación.

Fuente: elaborado por los autores.

la segunda fuente. Estos datos sirven para representar el resultado directo de la investigación.

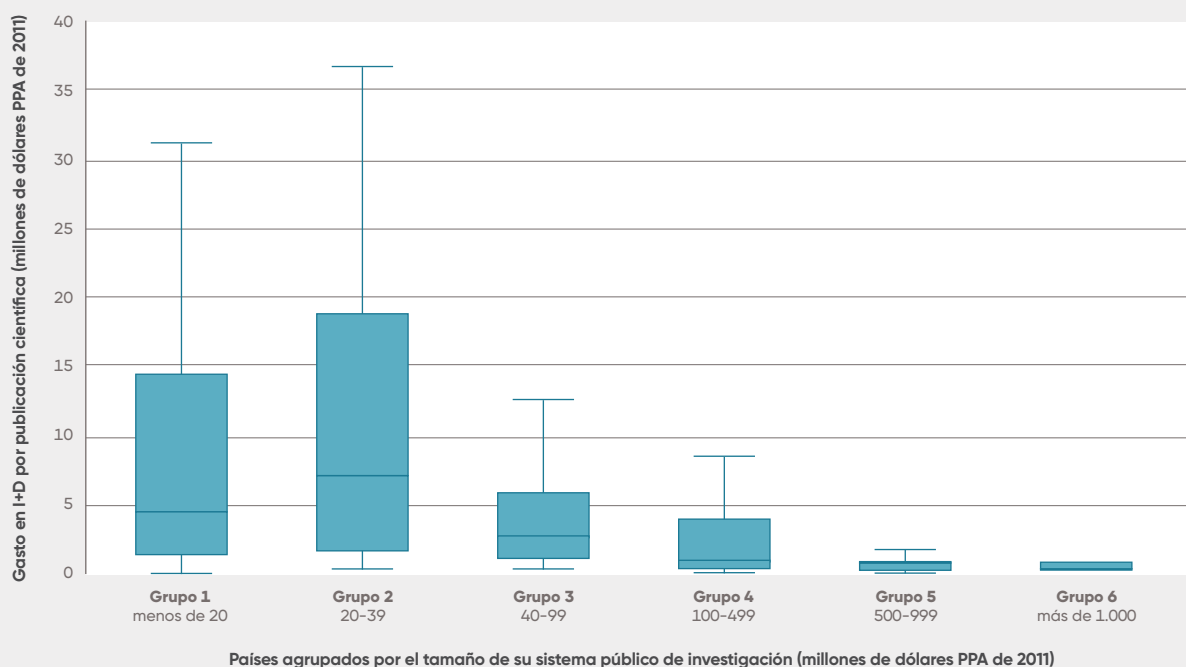
Sobre la base de estas dos fuentes de datos, se seleccionaron y compilaron las siguientes variables e indicadores para brindar una evaluación integral de la capacidad del sistema de investigación. Estos incluyen el gasto en I+D por publicación científica, costo y producción por investigador, la participación de los salarios y el capital en los costos totales de investigación, la composición institucional de I+D (contribución del gobierno y de las agencias de educación superior en el sistema), y la inversión en I+D como medida del tamaño del sistema de investiga-

ción. Ver **Anexo B** por información sobre las fuentes de datos y las metodologías de cálculo de estos indicadores.

4.1. Agrupación de países y países de referencia para el análisis comparativo

Los países se clasificaron en función del tamaño de su sistema de investigación agropecuaria, que es un factor crucial para tener en cuenta al realizar comparaciones entre países. La **figura 13** proporciona una ilustración de la correlación entre el gasto en investigación y desarrollo y la

Figura 13. Tamaño del sistema de I+D agropecuaria y producción científica para 124 países agrupados por la dimensión de su sistema de investigación, 2010–2013



Fuente: elaborado por los autores con base en ASTI (2023) y SCImago (2023).

Notas: (a) Estados Unidos, China, India y Brasil no están incluidos porque aparecen como valores atípicos en una comparación general debido al gran tamaño de sus sistemas de investigación.

(b) Los diagramas de caja brindan una representación visual del resumen de cinco números para cada grupo de países. El cuadro dentro de la gráfica representa el rango intercuartílico, que abarca el 50% medio de las puntuaciones. La mediana, que denota el punto medio de los datos, está indicada por la línea que divide el cuadro en dos partes. El bigote inferior indica el percentil 25, que representa las puntuaciones debajo del cuadro. Por otro lado, el bigote más alto representa el 25% superior de los valores dentro de cada grupo. La puntuación más baja, excluyendo los valores atípicos, se muestra al final de la línea inferior; mientras que la puntuación más alta se representa al final del línea superior.

producción científica en ciencias agronómicas y biológicas en 124 países de todo el mundo, segmentados según el tamaño de su sistema público de investigación. La figura destaca la influencia sustancial de la inversión en I+D sobre el rendimiento de la investigación. Los datos indican que los países que invierten menos de USD 20 millones PPA anualmente destinan un promedio de más de USD 11 millones PPA por artículo publicado. Esta cantidad aumenta a USD 38 millones PPA para países que gastan entre USD 20 y USD 40 millones PPA por año. Sin embargo, los países que invierten entre USD 40 y USD 100 millones PPA en I+D son testigos de una disminución significativa del gasto por artículo publicado, con una media de USD 6 millones PPA. Mientras tanto, los países que gastan entre USD 100 millones y USD 500 millones PPA en I+D observan una reducción adicional a USD 3 millones PPA. Si bien estos hallazgos se refieren específicamente a artículos publicados, es probable que reflejen una tendencia más amplia que abarque otros resultados de investigación. Estos resultados pueden atribuirse a varios factores, pero cabe señalar que el bajo número de publicaciones por cada dólar invertido en I+D puede indicar un sistema de investigación comparativamente menos desarrollado en estos países.

El proceso de medición y evaluación del desempeño de varios sistemas de I+D agropecuaria en ALC puede dividirse en varios pasos. El primer paso implica agrupar a los países por el tamaño de su sistema de investigación. En el contexto de ALC, los sistemas de investigación pequeños se definieron como aquellos que invierten alrededor de USD 30 millones por año o menos en promedio (en precios PPA de 2011). Este grupo está integrado por Belice, Nicaragua, Honduras, Guatemala, República Dominicana, Paraguay, Costa Rica, Panamá y Ecuador. El grupo de países con sistemas de investigación agropecuaria medianos está formado por Bolivia, Colombia, Perú, Uruguay y Chile. Todos los países de este grupo gastan entre USD 100 y USD 300 millones al año en I+D agropecuaria (en precios PPA

de 2011). El grupo con sistemas de investigación grandes incluyó solo a Argentina, Brasil y México, países que durante 2015–2020 invirtieron un promedio de USD 670, USD 2660 y casi USD 800 millones por año (en precios PPA de 2011), respectivamente. Los siguientes párrafos destacarán el desempeño de los sistemas de investigación agropecuaria en los países de ALC con sistemas de investigación agropecuaria pequeños, medianos y grandes.

Después de establecer los grupos de países para el análisis, el siguiente paso es identificar países que sirvan como puntos de referencia para evaluar el desarrollo de la investigación agropecuaria en otros países. Con base en la **figura 3**, cuatro países surgieron como candidatos destacados para la referencia: Brasil (que representa grandes sistemas de investigación), Chile y Uruguay (que representan sistemas de investigación medianos), y Costa Rica (que representa pequeños sistemas de investigación). Estos países exhibieron los puntajes más altos de capacidad de innovación y desarrollo del sistema alimentario. Luego de un análisis más detallado de los indicadores y subíndices que componen el FSDI y el ICI, dos países adicionales con sistemas de investigación pequeños, a saber, Panamá y Ecuador, surgieron con desempeños comparables a los cuatro países de referencia originales. Si bien el índice de desarrollo del sistema alimentario de Panamá es inferior al de los países de referencia, aún supera el promedio regional y, lo más importante, muestra un puntaje alto en el índice de capacidad de innovación, solo superado por Chile. Ecuador se destaca por su estatus atípico entre los países pequeños, con un puntaje más bajo en el índice de capacidad de innovación, pero con mejoras significativas en el capital humano y el desempeño de su sistema de investigación. Con la selección de grupos de países y países de referencia, ahora se pueden hacer comparaciones significativas entre países dentro de cada grupo, lo que permite obtener información valiosa sobre su desempeño relativo.

4.2. Análisis comparativo de los sistemas de investigación agropecuaria entre grupos de países

PAÍSES CON SISTEMAS DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA PEQUEÑOS

La **tabla 3** evalúa el desempeño de los sistemas de investigación en los países de ALC con sistemas de investigación agropecuaria pequeños. Cuantifica cada una de las áreas de desempeño identificadas en la tabla 2. Los datos revelan que los países pequeños de referencia (Ecuador, Costa Rica y Panamá) tienen sistemas de investigación agropecuaria más sólidos y desarrollados en comparación con los otros países de este grupo. Estos países de referencia emplean una mayor cantidad de investigadores con títulos avanzados, gastan más por investigador en I+D y asignan sus recursos de investigación de manera más uniforme entre los costos operativos y las inversiones de capital. Además, la productividad de los investigadores en los países de referencia también es considerablemente mayor que en otros países con sistemas de investigación pequeños. En general, los datos subrayan el papel vital del capital humano en el desarrollo de sistemas de investigación sólidos.

PAÍSES CON SISTEMAS DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA DE TAMAÑO MEDIO

Las columnas de la izquierda de la **tabla 4** comparan el desempeño de los sistemas de investigación agropecuaria de tamaño mediano en ALC, con Chile y Uruguay como países de referencia. En general, Chile, Colombia y Uruguay tienen sistemas de investigación más desarrollados que Bolivia y Perú. Chile supera a los demás países de este grupo con una productividad de 2,1 publicaciones por investigador al año, mientras que el promedio de los demás países es de

apenas 0,98. Esta brecha en el desarrollo científico puede atribuirse a diferencias en el capital humano, aunque las diferencias entre países con sistemas medianos son menores que en el caso de países con sistemas de investigación pequeños. La diferencia más significativa entre Chile y los demás países de este grupo es la proporción de investigadores con doctorado, que es del 37% en Chile y entre el 22 y el 26% en los demás países. Otra diferencia importante es la participación de los salarios en los costos totales de investigación, que supera el 50% en Chile y en Uruguay, pero solo el 19% en Perú. Además, la relación entre el gasto público y el gasto en educación superior en I+D agropecuaria es significativamente mayor en Chile, Colombia y Uruguay que en Bolivia y Perú.

PAÍSES CON SISTEMAS DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA GRANDES

Las columnas del lado derecho de la **tabla 4** comparan el desempeño de los grandes sistemas de investigación agropecuaria de ALC. Destaca el gasto de Brasil en I+D, que es casi cuatro veces más que el de Argentina y el de México en relación con el número de investigadores que emplea. Tanto Argentina como México asignan considerablemente menos recursos por investigador que Brasil, lo que resulta en una menor producción general. De hecho, el investigador promedio en Brasil publica 2,1 artículos por año, en comparación con solo 0,8 en México y 0,5 en Argentina. Esta mayor productividad en Brasil está vinculada con la mayor proporción de investigadores con doctorado en el país. Los salarios representan la parte más alta de los costos totales en los tres países, pero México asigna una mayor proporción de los gastos de I+D a los salarios en comparación con Brasil y Argentina. En Brasil, las agencias gubernamentales desempeñan un papel importante en la I+D agropecuaria, ya que representan más del 70% del gasto público total en este. En Argentina, esta cifra es del 50% y en México es del 39%.

Tabla 3. Comparaciones de países con pequeños sistemas de investigación agropecuaria

	Países de referencia										
	BLZ	NIC	HND	GTM	DOM	PRY	Promedio	ECU	PAN	CRI	Promedio
Gasto en +&D, 2015–2020 (millones a PPP\$)	2	9	12	17	18	32	18	24	26	30	27
Número promedio de investigadores 2015–2020 (ETC)	9	156	101	143	212	233	169	100	179	235	172
Número promedio de publicaciones	16	23	37	45	28	59	39	615	311	349	425
Gasto promedio en I+D por investigador (ETC), 2015–2020	0,19	0,06	0,12	0,12	0,09	0,14	0,10	0,24	0,15	0,13	0,17
Número promedio de publicaciones por investigador ETC	1,64	0,12	0,35	0,30	0,14	0,16	0,21	4,54	1,59	1,41	2,52
Gasto en I+D por publicación	0,11	0,50	0,44	0,42	0,65	0,91	0,58	0,05	0,12	0,11	0,10
Gasto en I+D por publicación ajustada por calidad	0,78	2,84	3,07	2,61	5,62	6,74	4,18	0,13	0,19	0,26	0,19
Publicaciones ajustadas por calidad por investigador	0,23	0,02	0,05	0,05	0,02	0,02	0,03	1,79	1,00	0,63	1,14
Costos salariales en costo total de investigación (%)	89,66	53,46	40,73	82,81	78,20	84,31	67,90	83,19	52,35	77,62	71,05
Costos operativos en costo total de investigación (%)	7,20	38,47	55,26	17,19	19,35	13,44	28,74	8,78	14,57	16,19	13,18
Costos de capital en costo total de investigación (%)	3,14	8,07	4,02	0,00	2,45	2,26	3,36	8,04	33,08	6,19	15,77
Ratio operativo/salario	0,08	0,72	1,36	0,21	0,25	0,16	0,54	0,11	0,28	0,21	0,20
Ratio capital/salario	0,04	0,15	0,10	0,00	0,03	0,03	0,06	0,10	0,63	0,08	0,27
Ratio capital/operativo	0,44	0,21	0,07	0,00	0,13	0,17	0,12	0,92	2,27	0,38	1,19
Investigadores con título de PhD o MSc (%)	44,26	42,33	19,69	26,10	n.a.	30,65	29,69	100,00	55,25	59,79	71,68
Investigadores con título de PhD (%)	11,48	2,50	7,09	4,87	n.a.	5,39	4,96	49,28	11,35	18,17	26,26
Investigadores con título de MSc (%)	32,79	39,83	12,60	21,23	n.a.	25,27	24,73	50,72	43,90	41,62	45,42
Investigadores con título de BSc (%)	55,74	57,67	80,31	73,90	n.a.	69,35	70,31	0,00	44,75	40,21	28,32
Relación gasto en I+D: Gobierno/Educación superior (ES)	8,21	3,44	0,59	1,29	4,06	1,37	2,15	1,28	7,02	0,73	3,01
Participación del gobierno en el gasto total en I+D (%)	34,79	74,58	18,53	49,55	79,98	57,76	56,08	47,22	87,54	33,70	56,15
Participación de la ES en el gasto total en I+D (%)	4,24	21,69	31,40	38,33	19,72	42,24	30,68	36,82	12,46	46,46	31,91
Participación de las organizaciones sin fines de lucro en el gasto total en I+D (%)	60,97	3,73	50,07	12,12	0,30	0,00	13,24	15,96	0,00	19,84	11,93

Fuente: elaborado por los autores con base en ASTI (2023) y SCImago (2023).

Tabla 4. Comparaciones de países con sistemas de investigación agropecuaria medianos y grandes

						Países de referencia			Países de referencia
	BOL	PER	COL	URY	Promedio	CHL	ARG	MEX	BRA
Gasto en +&D, 2015–2020 (millones a PPP\$)	55	143	300	93	148	213	674	798	2,660
Número promedio de investigadores 2015–2020 (ETC)	212	344	1,220	405	545	787	6,611	4,337	6,161
Número promedio de publicaciones	100	523	1,609	382	653	1,781	3,017	4,178	14,715
Gasto promedio en I+D por investigador (ETC), 2015–2020	0,26	0,42	0,25	0,23	0,29	0,27	0,10	0,18	0,43
Número promedio de publicaciones por investigador ETC	0,58	1,37	1,11	0,86	0,98	2,11	0,48	0,84	2,13
Gasto en I+D por publicación	0,76	0,27	0,25	0,30	0,40	0,13	0,28	0,25	0,22
Gasto en I+D por publicación ajustada por calidad	2,08	0,64	0,47	0,79	0,99	0,21	0,34	0,29	0,22
Publicaciones ajustadas por calidad por investigador	0,21	0,59	0,58	0,33	0,43	1,32	0,39	0,70	2,13
Costos salariales en costo total de investigación (%)	46,31	18,85	n.a.	52,08	39,08	52,18	79,79	55,64	76,67
Costos operativos en costo total de investigación (%)	19,51	15,29	n.a.	32,05	22,28	34,16	14,88	41,35	15,74
Costos de capital en costo total de investigación(%)	34,18	65,86	n.a.	15,87	38,64	13,66	5,33	3,00	7,59
Ratio operativo/salario	0,42	0,81	n.a.	0,62	0,62	0,65	0,19	0,74	0,21
Ratio capital/salario	0,74	3,49	n.a.	0,30	1,51	0,26	0,07	0,05	0,10
Ratio capital/operativo	1,75	4,31	n.a.	0,50	2,19	0,40	0,36	0,07	0,48
Investigadores con título de PhD o MSc (%)	n.a.	63,72	56,49	57,65	59,29	56,72	1,13	1,37	3,38
Investigadores con título de PhD (%)	n.a.	24,73	22,54	26,05	24,44	36,76	20,84	47,47	72,51
Investigadores con título de MSc (%)	n.a.	38,99	33,94	31,60	34,84	19,96	18,46	34,54	21,46
Investigadores con título de BSc (%)	n.a.	36,28	43,51	42,35	40,71	43,28	60,70	17,99	6,03
Relación gasto en I+D: Gobierno/Educación superior (ES)	0,44	0,55	1,99	1,07	1,01	2,83	1,01	0,63	2,72
Participación del gobierno en el gasto total en I+D (%)	19,26	35,60	40,27	50,85	36,50	66,65	50,24	38,70	71,27
Participación de la ES en el gasto total en I+D (%)	44,04	64,40	20,26	47,67	44,09	23,54	49,76	61,30	26,17
Participación de las organizaciones sin fines de lucro en el gasto total en I+D (%)	36,70	0,00	39,47	1,48	19,41	9,81	0,00	0,00	2,56

Fuente: elaborado por los autores con base en ASTI (2023) y SCImago (2023).



/ 5 /

**LA RELACIÓN ENTRE
EL DESEMPEÑO DEL
SECTOR AGROPECUARIO
Y LA INVERSIÓN EN I+D
EN AMÉRICA LATINA
Y EL CARIBE**

Esta sección explora la conexión entre la inversión en I+D y el desempeño del sector agropecuario en ALC al revisar el impacto de la investigación en la producción agropecuaria, centrándose específicamente en los cambios en la productividad.

Para lograr esto, se emplea un modelo global de inversión en I+D calibrado a nivel de país que incluye la inversión pública en I+D agropecuaria, la difusión del conocimiento y los factores ambientales como la temperatura y la precipitación. Las fuentes de datos utilizadas para construir este modelo incluyen la producción agropecuaria total y los insumos de la base de datos USDA-ERS (2023), datos de inversión pública en I+D agropecuaria de ASTI (2023) y datos de temperatura y precipitación de Ortiz-Bobea *et al.* (2021). Para abordar la disponibilidad limitada de datos sobre inversión privada en I+D, se utilizaron datos de Fuglie (2016) para asignar la inversión privada en I+D a los países de ALC. El supuesto subyacente es que la I+D privada desempeña un papel importante en los países con economías más grandes y sistemas alimentarios más avanzados, mientras que su importancia es relativamente menor en las economías más pequeñas y menos desarrolladas. Sobre la base

de estos supuestos y las estimaciones de inversión privada en I+D, el modelo calcula el efecto de la inversión privada en I+D y los efectos indirectos privados en ALC. El modelo está calibrado para reproducir las tendencias observadas en la producción agropecuaria a nivel de país en función del uso de insumos, la inversión pública y privada en I+D, la difusión del conocimiento, la temperatura y la precipitación. El siguiente análisis presenta los resultados centrándose en las tendencias de la producción, la productividad total de los factores (PTF) estimada y los insumos totales, así como la contribución de la inversión en I+D al crecimiento de la PTF entre 2000 y 2020. El objetivo es proporcionar información a los responsables de la formulación de políticas y a las partes interesadas mediante el examen de la relación entre la inversión en I+D y el rendimiento agropecuario. Ver **Anexo C** por mayor información sobre la calibración del modelo y los datos utilizados.

Recuadro 4. Productividad total de los factores

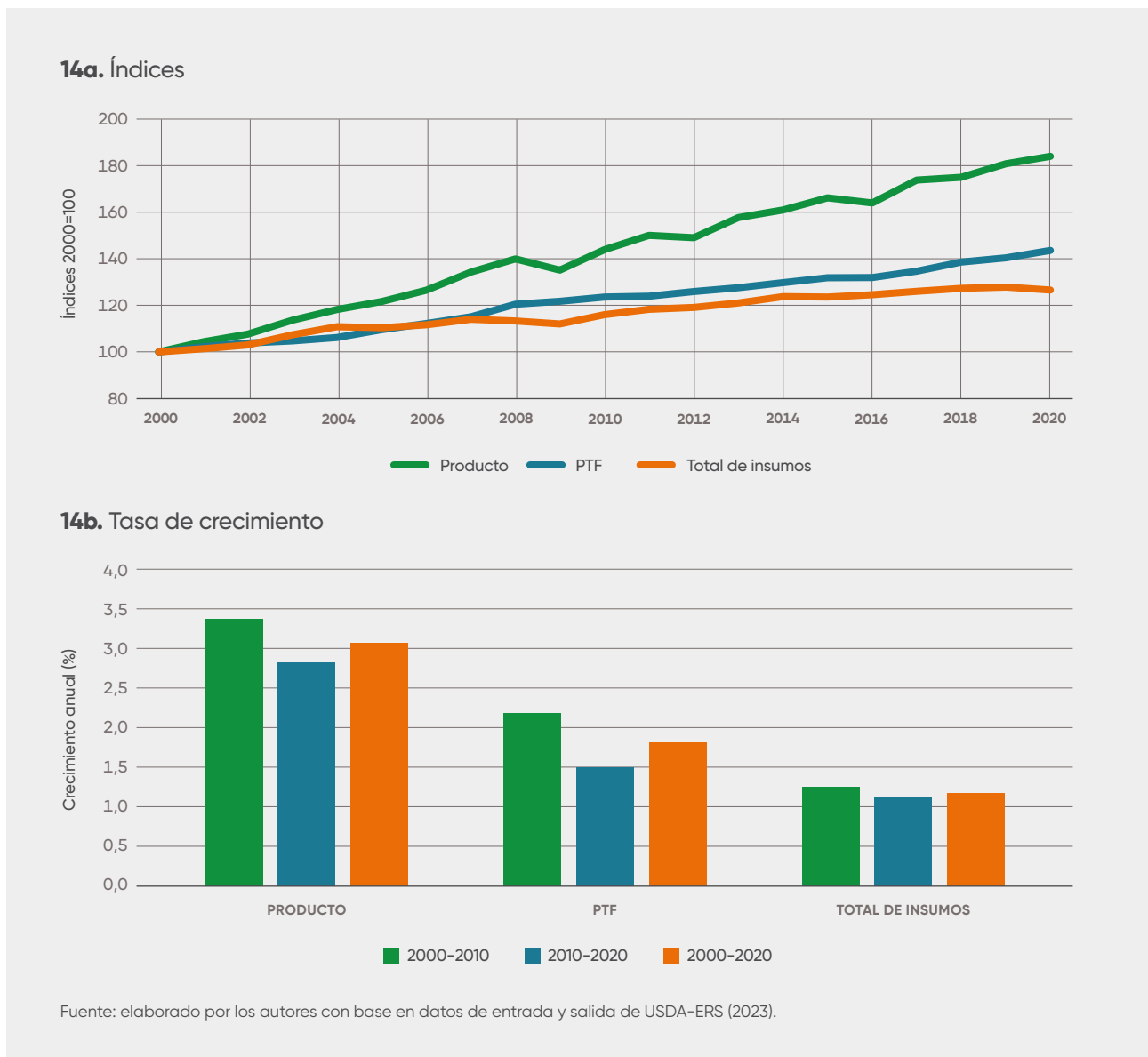
Aumentar la eficiencia de la producción agropecuaria, es decir, obtener más resultados con la misma cantidad de recursos, es fundamental para mejorar la seguridad alimentaria. La productividad total de los factores es un indicador de la eficiencia con la que se utilizan la tierra, la mano de obra, el capital y otros insumos (semillas, fertilizantes, etc.) para producir los productos agropecuarios de un país (cultivos, ganado, etc.). La PTF se calcula como la relación entre la producción agropecuaria total y los insumos de producción totales, por lo que, cuando se produce de más a partir de una

cantidad constante de recursos, la PTF aumenta. Las actividades de I+D que producen nuevas variedades de cultivos, tecnologías e innovaciones son un factor impulsor fundamental de la PTF, pero los efectos indirectos de las tecnologías desarrolladas en el extranjero, un mayor número de trabajadores calificados, las inversiones que favorecen el desarrollo de mercados de insumos y productos (como en carreteras y comunicaciones), y las políticas e instituciones gubernamentales que promueven el desarrollo del mercado y la competencia también son impulsores importantes.

Durante el período 2000-2020, hubo un aumento del 84% en la producción agropecuaria en ALC, lo que corresponde a un crecimiento anual promedio del 3,1% (figura 14). Sin embargo, el crecimiento de la producción no fue consistente a lo largo de este período, ya que la primera década mostró un crecimiento anual promedio más alto (3,4%) en comparación con la segunda década (2,8%).

Una mirada más cercana a los componentes del crecimiento de la producción revela que el aumento de la PTF ha sido el principal impulsor del crecimiento de la producción agropecuaria total de ALC, ya que representó el 60% del aumento regional. Durante 2000-2020, el crecimiento anual de la PTF fue del 1,8% en promedio, mientras que el crecimiento de los insumos totales promedió solo el 1,2% por año.

Figura 14. Crecimiento de la producción agropecuaria, la PTF y los insumos, 2000-2020



El grupo de países con sistemas de I+D agropecuaria pequeños experimentó el aumento más rápido de la producción agropecuaria entre 2000 y 2020, con un crecimiento medio del 3,5% anual (figura 15). Esta tasa de crecimiento anual superó la de los sistemas grandes (3,1%) y los sistemas medianos (2,6%). Curiosamente, mientras que el crecimiento de la producción del grupo grande fue impulsado, principalmente, por el crecimiento de la PTF, el crecimiento del grupo pequeño fue principalmente el resultado de un mayor uso de insumos. En otras palabras, el aumento de la producción agropecuaria del grupo pequeño se debió, principalmente, a la inversión en más recursos, mientras que el crecimiento del grupo grande se debió al aumento de la producción por unidad de recursos utilizados. Los países con sistemas medianos de I+D agropecuaria, por otro lado, experimentaron

contribuciones casi iguales al crecimiento de la producción agropecuaria tanto del crecimiento de la PTF como de los insumos, con un promedio de 1,4% y 1,3% por año, respectivamente.

Hubo una variación significativa entre los países de ALC respecto del crecimiento de la PTF agropecuaria entre 2000 y 2020. Las tasas más altas, superiores al 2% anual, se observaron en la República Dominicana, Chile, Brasil y Guatemala (figura 16). Le siguieron Colombia, Paraguay, Nicaragua y México, con tasas de crecimiento de la PTF que oscilaron entre 1,8% y 1,9% anual. Bolivia y Argentina registraron un menor crecimiento de la PTF, de solo 1,2% y 1,1% anual, respectivamente. El crecimiento anual de la PTF en Panamá, Honduras, Perú, Costa Rica y Uruguay estuvo por debajo del 1%. Se observaron tasas negativas de crecimiento de la PTF en Ecuador y en Belice.

Figura 15. Crecimiento de la producción agropecuaria, la PTF y los insumos en ALC, desglosado por grupos de países con sistemas de investigación agropecuaria pequeños, medianos y grandes, 2000-2020

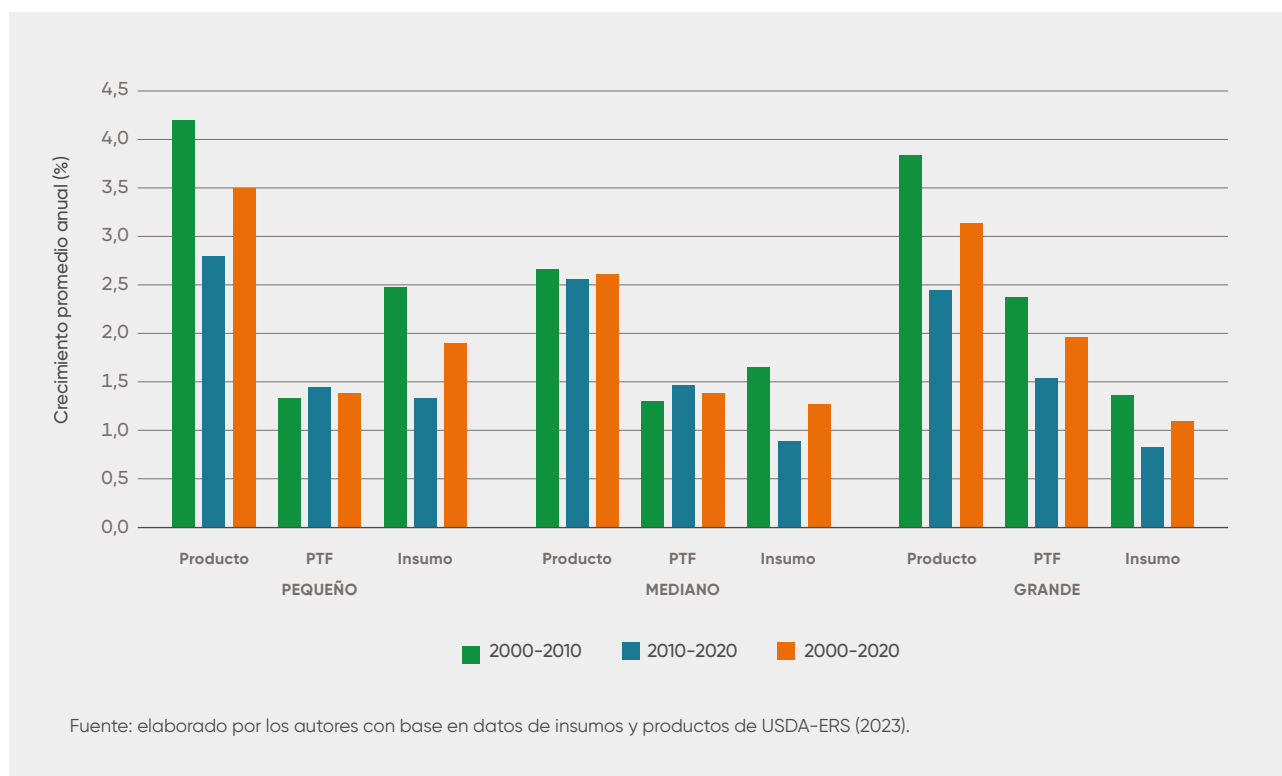
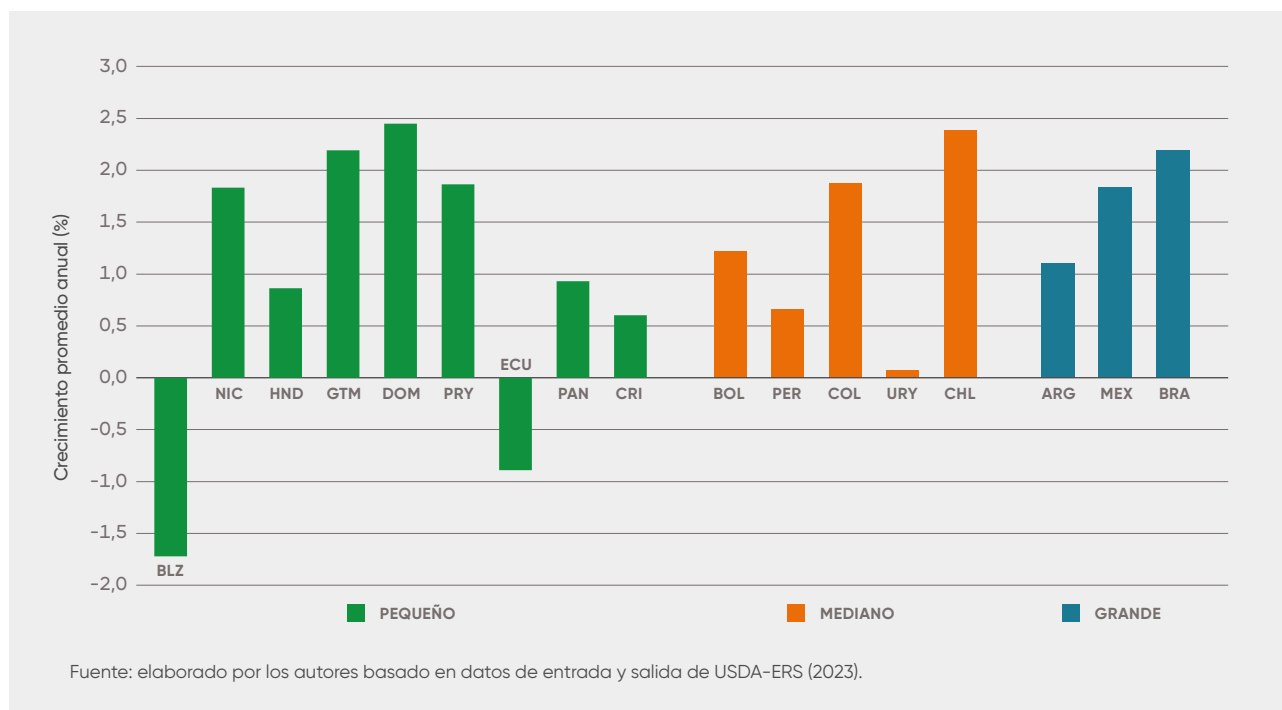


Figura 16. Crecimiento de la PTF agropecuaria en ALC desglosado por país, 2000-2020

Para obtener una mejor comprensión de los factores que impulsan el crecimiento de la PTF en todos estos países, la figura 17 desglosa el crecimiento de la PTF por las contribuciones de la inversión pública en I+D, la inversión privada en I+D, los efectos derrames desde el extranjero, el clima y otros shocks. Este desglose revela que la I+D pública ha proporcionado contribuciones limitadas al crecimiento de la PTF en países con sistemas de investigación agropecuaria pequeños (figura 17a). Durante 2000-2020, la I+D pública contribuyó a un crecimiento anual de la PTF de solo el 0,1% en estos países como grupo. Este promedio de todo el grupo, sin embargo, oculta un grado significativo de variación entre países, ya que la I+D pública ha contribuido relativamente más al crecimiento de la PTF en Costa Rica (0,34% anual en promedio), Ecuador (0,29%) y República Dominicana (0,25%). El modelo también sugiere que la I+D privada parece tener un papel limitado en impulsar el crecimiento de la PTF, lo que se refleja en el hecho de que muy

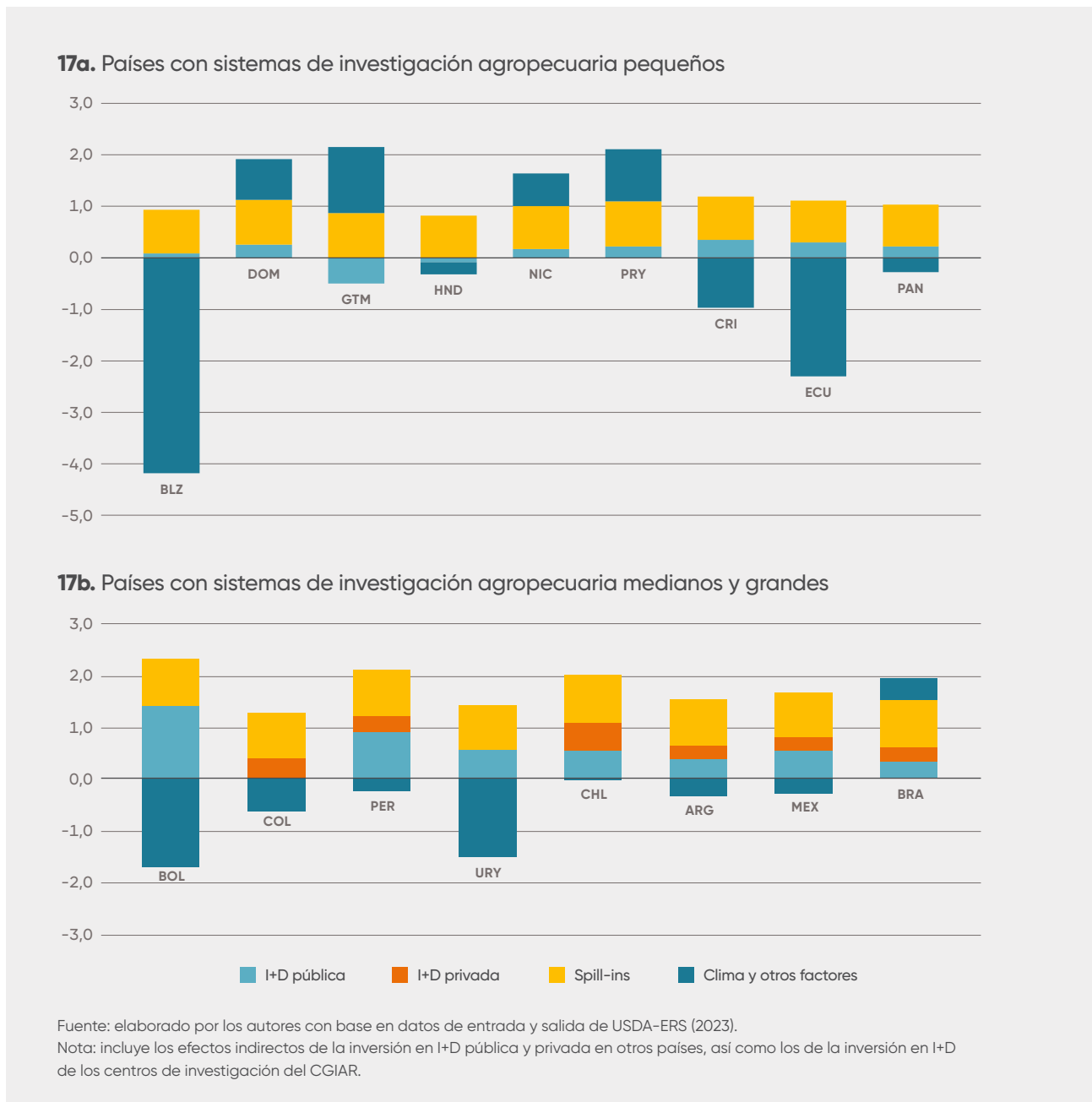
pocas empresas privadas realizan I+D agropecuaria en estos países más pequeños. En contraste, los derrames desde el extranjero fueron un factor importante que impulsó el crecimiento de la PTF en los países más pequeños de ALC, lo que demuestra la importancia de los flujos de conocimiento internacional en la productividad agropecuaria de estos países. Finalmente, el clima y otros shocks también desempeñaron un papel considerable en el crecimiento de la PTF, lo que afectó a los países más pequeños con una mayor variabilidad.

Entre los países con sistemas de investigación agropecuaria medianos y grandes, por otro lado, la contribución de la inversión pública en I+D al crecimiento de la PTF fue mucho mayor, con un promedio del 0,5% anual para el grupo en su conjunto. La I+D pública contribuyó a un crecimiento promedio anual de la PTF del 1,27% en Bolivia, seguida de Perú (0,81%), Uruguay (0,50%), México (0,48%) y Chile (0,47%) (figura 9b).

El impacto de la inversión privada en I+D sobre el crecimiento de la PTF agropecuaria también fue mucho mayor en el grupo de países con sistemas de I+D medianos y grandes. En general, la inversión privada contribuyó con un promedio de 0,23% de crecimiento anual de la PTF en estos países

durante 2000-2020, con la mayor contribución observada en Chile (0,51%). Los derrames desde el extranjero desempeñaron un papel igualmente importante en el impulso del crecimiento de la PTF en países con sistemas de I+D medianos y grandes que en los países con sistemas pequeños.

Figura 17. Los impulsores del crecimiento de la PTF agropecuaria en ALC



/ 6 /

DISCUSIÓN E IMPLICACIONES POLÍTICAS



Este informe proporcionó una nueva perspectiva sobre el estado actual y la dirección futura de la I+D agropecuaria en ALC, así como los factores estructurales que influyen en la I+D agropecuaria, la capacidad de innovación y el desarrollo del sistema alimentario en la región. El análisis se basó en datos de inversión y capacidad de investigación agropecuaria recientemente actualizados para diez países de ALC, junto con la I+D agropecuaria existente y otros conjuntos de datos para países de la región cuyos datos no fueron actualizados.

Entre los diez países con datos de inversión en I+D actualizados, ha habido un aumento colectivo del 45% en el gasto en I+D agropecuaria entre 2007 y 2020. En particular, Bolivia y Perú han desempeñado un papel importante en impulsar este crecimiento, gracias a la financiación sustancial de donantes y bancos de desarrollo destinados a apoyar sus esfuerzos de I+D agropecuaria. Estos fondos se han utilizado para implementar reformas institucionales, capacitar al personal y otorgar subvenciones competitivas para investigación e innovación, lo que resultó en un aumento sustancial en el gasto en I+D. Si bien este aumento demuestra el compromiso de estos países con la investigación agropecuaria, la sostenibilidad de estas reformas sigue siendo incierta. La capacidad de mantener los niveles de gasto actuales una vez que concluya el financiamiento de los donantes y los bancos de desarrollo determinará el impacto a largo plazo de estos esfuerzos.

Por el contrario, los niveles de inversión en los ocho países restantes para los que se dispone de nuevos datos se han estancado o han disminuido en gran medida. Esta observación se alinea con el patrón histórico de inversión insuficiente en I+D agropecuaria en ALC, con solo un puñado de países (particularmente, Brasil) que representan una porción significativa de los recursos de I+D agropecuaria disponibles. Esta falta de inversión tiene graves consecuencias, incluida la devaluación del capital humano en la investigación agropecuaria, lo que obstaculiza el crecimiento a largo plazo del sector.

El estado inadecuado del capital humano en la investigación agropecuaria en los países de ALC presenta una preocupación aún más apremiante que el tema de la baja inversión en I+D. Los datos presentados en este informe indican que, en la mayoría de los países, solo una pequeña fracción de los investigadores tiene títulos de doctorado y, de los que los tienen, dos tercios tienen entre cincuenta y sesenta años, por lo que se acercan a la edad de jubilación obligatoria. Esta tendencia subraya la baja prioridad asignada a la I+D agropecuaria por muchos países, lo que lleva a un agotamiento gradual del capital humano, el recurso más crucial en la investigación, que podría tardar décadas en reponerse. Además, destaca el estado subdesarrollado de la investigación agropecuaria en muchos países, lo que requiere un plan integral a largo plazo para mejorar la capacidad de investigación y fomentar el crecimiento del capital humano.

Las comparaciones de países en la Sección 4 enfatizan el papel crucial del capital humano en el desarrollo de sistemas de investigación sólidos. Brasil, Chile, Ecuador, Costa Rica y Panamá han demostrado un desempeño superior en comparación con otros países con sistemas de investigación de tamaño similar en términos de publicaciones, productividad y costos de investigación. Estas disparidades pueden atribuirse, en gran medida, a las diferencias en la calidad del capital humano y la utilización de los insumos de capital entre estos países.

El análisis de la Sección 5, que examina el impacto de la inversión en I+D sobre el crecimiento de la PTF, revela que el éxito de los países con sistemas de investigación más sólidos se extiende más allá de los resultados académicos. Entre los diez países analizados con datos actualizados, la I+D pública ha desempeñado un papel relativamente mayor en la contribución al crecimiento de la PTF en Costa Rica, Ecuador, Bolivia y Perú. Tres de estos cuatro países han logrado avances significativos en el aumento de la inversión en I+D y la inversión en capital humano en los últimos años. Además, Costa Rica ha desarrollado con éxito uno de los sistemas de investigación más fuertes entre los países de ALC con capacidades de investigación más pequeñas. En general, los datos indican que los países con sistemas de investigación pequeños han experimentado un crecimiento de la PTF más lento a lo largo del tiempo en comparación con aquellos con sistemas más grandes o medianos, lo que plantea un desafío para el futuro desarrollo de la investigación en estos países.

Esto plantea la importante pregunta:

¿Por qué los países de la región siguen invirtiendo poco en I+D, a pesar de que la evidencia histórica apunta a un alto rendimiento de dichas inversiones?

No hay una respuesta definitiva, pero, hace una década, Trigo *et al.* (2013) propusieron un conjunto de hipótesis con el fin de responder a esta pregunta y ofrecieron recomendaciones para revitalizar los sistemas de investigación en ALC que siguen siendo válidas en la actualidad. A partir del análisis de Trigo *et al.* (2013), a continuación, destacamos varios elementos clave que ayudan a explicar la insuficiente inversión en I+D en la región.

El estado actual del modelo INIA, que desempeñó un papel fundamental en las transformaciones tecnológicas agropecuarias de la región en sus primeras décadas, ahora está sujeto a un escrutinio significativo. Esto es evidente en su importancia política disminuida, lo que resulta en un apoyo

financiero reducido y una falta de rejuvenecimiento en el cuadro de investigadores calificados. Varios factores contribuyen a la falta de apoyo a la investigación agropecuaria en la región.

En primer lugar, la creación de los INIA como institutos públicos de investigación semiautónomos se dio hace varias décadas cuando el sector agroalimentario estaba menos desarrollado y la producción primaria representaba la mayor parte del valor del sistema. En este contexto, las prioridades de I+D se centraron en abordar los problemas de producción y mejorar la gestión de los recursos naturales, mientras que las etapas posteriores a la cosecha y a la agroindustrialización aún no se consideraban de alta prioridad.

La cadena productiva de alimentos en ALC ha sufrido transformaciones significativas desde el establecimiento de los INIA. El aumento de los ingresos y la urbanización han dado lugar a cambios en los patrones de consumo de alimentos, que exigen una mayor calidad y una variedad más amplia de productos. Esto, a su vez, ha influido en los avances tecnológicos en la producción primaria y la inversión en segmentos no agropecuarios de la cadena alimentaria. En consecuencia, los mercados nacionales han experimentado una mayor integración de los mercados de insumos y productos, lo que ha dado lugar a una cadena alimentaria ampliada y más diversa con conexiones más estrechas entre la producción primaria, las industrias de procesamiento de alimentos y el sector minorista.

Estos cambios en la cadena alimentaria han disminuido el significado político e institucional de los INIA. Ahora se reconoce ampliamente que la investigación agropecuaria involucra múltiples actores, tanto públicos como privados, sin una sola entidad rectora. La innovación surge a través de la colaboración e integración de conocimientos y esfuerzos de diversas fuentes, incluidas universidades, centros de investigación privados, empresas, ONG e incluso la participación activa

de los propios productores. En este contexto, el sector privado ha asumido un papel estratégico en el impulso de la innovación, especialmente, en la comercialización de tecnologías, ya que muchas ideas y conceptos nuevos están orientados al mercado y requieren la participación de las empresas para llegar a este.

En consecuencia, la cadena alimentaria ha sufrido una importante transformación, poniendo un mayor énfasis en la adición de valor a través del procesamiento y la comercialización. Este cambio ha llevado a una mayor participación de las empresas en la cadena de valor y una disminución relativa en el sector primario. Por lo tanto, si bien la investigación pública sigue siendo importante en el dominio de los bienes públicos, la innovación agropecuaria ahora ocurre en un contexto más diverso y complejo, donde la colaboración y el intercambio de conocimientos son clave para lograr un progreso significativo.

Otro factor que contribuye a la disminución de la importancia de los INIA es el progreso científico en áreas no agropecuarias que tienen implicaciones para la investigación agropecuaria. Muchos INIA no están adecuadamente preparados, tanto organizacional como institucionalmente, para incorporar los avances de las nuevas biotecnologías y tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Por ejemplo, las tecnologías de edición del genoma en cultivos, animales y microorganismos, así como las innovaciones digitales que ayudan a los agricultores, comerciantes y legisladores a tomar decisiones informadas a lo largo de las cadenas de valor, requieren cambios fundamentales en el desarrollo de recursos humanos y una colaboración más estrecha entre los INIA y los centros de investigación, las universidades, institutos públicos, industrias y actores emergentes como empresas de telecomunicaciones y desarrolladores de *software* (Benfica *et al.*, 2023).

Por lo tanto, el modelo INIA se ha vuelto obsoleto tanto respecto de los avances científicos como de la efectividad operativa. Los escenarios emergentes requieren una agenda de investigación más amplia, que aborde cuestiones relacionadas con la demanda cambiante de alimentos, el desarrollo del sistema agroalimentario y las modificaciones en el panorama científico de la investigación agropecuaria. Las adaptaciones a las nuevas realidades requieren cambios institucionales para revitalizar los INIA. Es en este contexto que surge el concepto de sistemas nacionales de innovación agropecuaria, que ofrece oportunidades para incorporar nuevos actores al proceso y facilitar la interacción entre las ciencias biológicas y otros dominios del conocimiento en los procesos de innovación.

Estos sistemas de innovación se definen como redes formadas por agentes implicados directa o indirectamente en la introducción y difusión de nuevos productos y procesos tecnológicos. Este concepto tiene sus raíces en la noción de que el interés de la sociedad por invertir en la generación de nuevos conocimientos y tecnologías va más allá de su valor intrínseco por sí solo. Está impulsado por el reconocimiento de que su aplicación en el proceso de innovación puede contribuir al mayor bienestar de la sociedad. Si bien este concepto aún está evolucionando a partir de un debate conceptual en curso sobre sus implicaciones, se ha avanzado poco en ALC con respecto a políticas concretas y la implementación (Banco Mundial, 2011). **Por lo tanto, los países de ALC deben abordar cuestiones fundamentales para impulsar la transformación de los sistemas de investigación e innovación agropecuaria.**

En primer lugar, es imperativo determinar el enfoque más eficaz para conectar los procesos de investigación e innovación. Esto implica identificar soluciones innovadoras que tengan el potencial de abordar los múltiples desafíos que enfrentan los sistemas alimentarios en la región. Además, es fundamental comprender el papel

que puede desempeñar la investigación en el desarrollo de estas innovaciones, determinar las políticas e instituciones necesarias para promoverlas y definir los actores y sus respectivas responsabilidades dentro de este proceso.

En segundo lugar, es crucial fomentar la integración de los INIA en los sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación. Si bien estas instituciones han desempeñado un papel importante en el pasado, a menudo han operado en un aislamiento relativo de otras entidades científicas y tecnológicas, posiblemente debido a sus circunstancias históricas. Por ello, es fundamental brindarles el apoyo necesario para que se integren de manera efectiva en estos sistemas y establezcan vínculos más estrechos con otras instituciones científicas y tecnológicas.

En tercer lugar, es crucial promover alianzas entre los sistemas de investigación de diferentes países, tanto dentro como fuera de la región. Esto es particularmente importante para los países con sistemas de investigación relativamente menos desarrollados y economías pequeñas que enfrentan limitaciones en la creación de instituciones de suficiente tamaño para abordar la diversa gama de desafíos y servicios que se les presentan. Estos países afrontan mayores dificultades en áreas como la creciente importancia de la investigación básica en los procesos de innovación y la internacionalización de los marcos para la protección de los derechos de propiedad intelectual de las nuevas tecnologías, lo que plantea mayores dificultades para el desarrollo de su investigación en el futuro (Benfica *et al.*, 2023). Por lo tanto, la construcción de redes fuertes de cooperación con los sistemas públicos regionales de I+D y extensión agropecuaria, así como con el sector privado, se vuelve esencial para lograr una mayor eficiencia. Los sistemas nacionales deben colaborar activamente con sus contrapartes regionales, incluidos los mecanismos de cooperación regional, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y los centros

CGIAR ubicados en la región, como CIMMYT, CIAT y CIP, además de los centros de investigación y las universidades fuera de la región. Este enfoque estratégico es crucial para ponerse al día con la frontera del conocimiento y optimizar la utilización de los recursos al evitar la duplicación de esfuerzos, lo que tiene especial relevancia para los países más pequeños, donde las restricciones de inversión son más significativas.

En cuarto lugar, el desarrollo y la implementación de nuevas biotecnologías requieren abordar las brechas regulatorias que impiden que las partes interesadas desarrollen, implementen y utilicen bioinnovaciones y tecnologías digitales de manera segura. Esto incluye abordar los problemas de propiedad intelectual relacionados con el acceso y la gestión de las innovaciones, así como las consideraciones reglamentarias para minimizar el costo de los retrasos en los procesos de desarrollo, implementación y adopción. La racionalización de los marcos regulatorios en estas áreas es fundamental para fomentar la innovación y garantizar un progreso eficiente (Benfica *et al.*, 2023).

Finalmente, los países con sistemas de investigación pequeños o menos desarrollados deben abordar brechas importantes en sus inversiones en investigación y desarrollo, así como en capacidades institucionales y humanas. Esto es crucial para mejorar la calidad, el alcance y el potencial de sus sistemas de investigación y reducir la brecha científica que los separa de los países más avanzados de la región. Lograr este objetivo requiere fortalecer la coordinación entre las instituciones nacionales y las de otros países, fomentar la colaboración en torno a objetivos compartidos y priorizar la formación de una nueva generación de científicos con las habilidades necesarias para generar y entregar las innovaciones requeridas.

Otro aspecto crucial en el fortalecimiento de la investigación en la región es el establecimiento de mecanismos de financiamiento efectivos.

La financiación institucional tradicional, caracterizada por la financiación sin restricciones del Gobierno o de donantes de la investigación pública, ha perdido importancia gradualmente en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). En cambio, se han introducido criterios basados en el desempeño, mediante los cuales los fondos se asignan a las instituciones en función de su excelencia en investigación a través de un proceso de revisión por pares y ejercicios de evaluación periódicos. La adopción de enfoques similares en ALC puede ayudar a asignar recursos de manera más estratégica y promover una cultura de excelencia en las instituciones de investigación.

En el contexto de ALC, es evidente que una nueva institucionalidad que priorice la innovación requerirá la adopción de sistemas de financiamiento más flexibles y competitivos. Estos sistemas deben abordar temas prioritarios establecidos por los gobiernos o los consejos de investigación y emplear enfoques basados en el desempeño para el financiamiento institucional. Los países que ya han implementado tales cambios comúnmente citan varias razones para hacerlo. Estos incluyen mejorar la calidad de la investigación, fomentar la investigación interdisciplinaria, superar las limitaciones institucionales y estructurales, facilitar la creación de redes entre diferentes instituciones y promover el desarrollo de jóvenes investigadores. Al adoptar estos enfoques, ALC puede crear un entorno propicio para la innovación y el avance de la investigación. La región ya tiene un precedente notable en el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO), que es un mecanismo regional sostenible de cofinanciamiento establecido en 1998. Se enfoca en el desarrollo de tecnología agropecuaria en América Latina, el Caribe y España con el objetivo de promover la gestión sostenible de los recursos naturales. FONTAGRO desempeña un papel importante como mecanismo de cooperación en I+D entre

los países miembros, fomentando la creación de tecnologías e innovaciones relevantes para sus sociedades. Para dar forma al futuro de las instituciones de investigación e innovación en la región, será necesario establecer iniciativas similares tanto regionales como nacionales.

En los sistemas nacionales emergentes de investigación e innovación, el sector privado asumirá un papel de liderazgo para abordar muchas de las preocupaciones de larga data de los sistemas públicos. Sin embargo, el sistema público de investigación agropecuaria seguirá ocupando una posición crucial en la región. Ciertos bienes públicos carecen inherentemente de la atención de otros actores en el sistema de innovación, incluida la mitigación y adaptación climática, el desarrollo territorial, la diversificación de la producción y la biodiversidad. En este contexto, las instituciones públicas de investigación deben aprovechar la oportunidad de alinear su agenda de investigación con estos bienes públicos vitales que son esenciales para el desarrollo, pero que pueden no atraer el interés de otros actores en el sistema de innovación.

En resumen, lograr un sector agroalimentario próspero en ALC depende de la adopción de las recomendaciones descritas en esta discusión, así como de una mentalidad progresista.

Fomentar la investigación y la innovación, realizar inversiones estratégicas y promover la colaboración transfronteriza e intersectorial son acciones vitales que se deben llevar a cabo. Al hacerlo, ALC puede liberar su potencial sin explotar y emerger como pionero en el desarrollo agropecuario sostenible en el escenario mundial. Para emprender este viaje transformador hacia un futuro próspero y resiliente para la agricultura en ALC, se requieren esfuerzos concertados y una determinación inquebrantable de todas las partes interesadas. Juntos pueden forjar un camino hacia un mañana mejor para la región. El tiempo para la acción es ahora.

REFERENCIAS

- **Arndt, C., Robinson, S., y Tarp, F. 2002.** Parameter estimation for a computable general equilibrium model: a maximum entropy approach. *Economic Modelling*, 19(3), 375–398.
- **ASTI (Agricultural Science and Technology Indicators). 2023.** Base de datos de ASTI. <https://asti.cgiar.org/> [Consultado en febrero, 2023]
- **Barro, R., y Lee, J. 2018.** Barro-Lee educational attainment data. DOI: <http://www.barrolee.com> [Consultado en marzo, 2023]
- **Benfica, R., Chambers, J., Koo, J., Nin-Pratt, A., Falck-Zepeda, J., Stads, G.J., y Arndt, C., 2023.** Food system innovations and digital technologies to foster productivity growth and rural transformation. *Science and Innovations for Food Systems Transformation*, p. 421–437.
- **Conte, A., Schweizer, P., Dierx, A., y Ilzkovitz, F., 2009.** An analysis of the efficiency of public spending and national policies in the area of R&D. Occasional Papers 54, Brussels, European Commission Directorate-General for Economic and Financial Affairs. Online en: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/23549/>
- **De Janvry, A. 2010.** Agriculture for development: new paradigm and options for success. *Agricultural Economics*, 41, pp. 17–36.
- **Fuglie, K. 2016.** The growing role of the private sector in agricultural research and development world-wide. *Global Food Security*, 10, 29–38.
- **Fuglie K., Clancy, M., y Heisey P. 2018.** Private-Sector Research and Development. In: Kalaitzandonakes N, Carayannis E, Grigoroudis E, Rozakis S, eds. *From Agriscience to Agribusiness. Innovation, Technology, and Knowledge Management*. Springer, 41–73.
- **Geisler, E., 1995.** Industry–university technology cooperation: a theory of inter-organizational relationships. *Technology Analysis & Strategic Management*, 7(2), 217–229.
- **Griliches, Z. 1979.** Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth. *The Bell Journal of Economics*, 10(1), 92–116.
- **Guan, J., y Chen, K. 2012.** Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research policy*, 41(1), 102–115.
- **Hirsch, J. 2005.** An index to quantify an individual's scientific output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102 (2005) 16569–16572.
- **Maass, G. 2004.** Funding of public research and development: trends and changes. *OECD Journal on Budgeting*, 3(4), pp. 41–69.
- **Mason-D'Croz, D., Sulser, T., Wiebe, K., Rosegrant, M., Lowder, S., Nin-Pratt, A., Willenbockel, D., Robinson, S., Zhu, T., Cenacchi, N., Dunston, S., y Robertson, R. 2019.** Agricultural investments and hunger in Africa modeling potential contributions to SDG2 – Zero Hunger. *World Development*, 16, 38–53.

- **Nin-Pratt, A., Falconi, C., Ludena, C., y Martel, P. 2015.** *Productivity and the Performance of Agriculture in Latin America and the Caribbean: From the Lost Decade to the Commodity Boom.* Washington, DC: Inter-American Development Bank Environment, Rural Development Disaster Risk Management Division.
- **Nin-Pratt, A., y Stads, G. 2023.** Innovation Capacity, Food System Development, and the Size of the Agricultural Research System. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7: 1051356.
- **Ortiz-Bobea, A., Ault, T., Carrillo, C., Chambers, R., y Lobell, D. 2021.** Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change*, 11(4), 306-312.
- **Pakes, A., y Griliches, Z. 1980.** Patents and R&D at the firm level: A first report. *Economics Letters*, 5(4), 377-381.
- **Pörtner, H., Roberts, D., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E., Begum, R., Betts, R., Kerr, R., Biesbroek, R., y Birkmann, J., 2022.** *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability.* Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- **Reardon, T., Echeverría, R., Berdegue, J., Minten, B., Liverpool-Tasie, L., Tschirley, D., y Zilberman, D. 2019.** Rapid transformation of food systems in developing regions: highlighting the role of agricultural research. *Agricultural Systems*, 172, 47-59.
- **Rosegrant, M., Sulser, T., Mason-D'Croz, D., Cenacchi, N., Nin-Pratt, A., Dunston, S., Zhu, T., Ringler, C., Wiebe, K., Robinson, S., Willenbockel, D., Xie, H., Kwon, H., Johnson, T., Thomas, T., Wimmer, F., Schaldach, R., Nelson, G., y Willaarts, B. 2017.** *Quantitative foresight modeling to inform the CGIAR research portfolio. Project Report for USAID.* Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI)
- **Schoch, M., Kofi Tetteh Baah, S., Lakner, C., y Friedman, J. 2022.** Half of the global population lives on less than US\$6.85 per person per day. *World Bank Blogs.* Disponible en: <https://blogs.worldbank.org/developmenttalk> [Consultado en febrero, 2023]
- **Schwab, K. 2019.** *The Global Competitiveness Report 2019.* Geneva: World Economic Forum.
- **SCImago. 2023.** SJR – SCImago Journal & Country Rank. <http://www.scimagojr.com> [Consultado en febrero, 2023]
- **Spielman, D., y Birner, R. 2008.** *How innovative is your agriculture? Using innovation indicators and benchmarks to strengthen national agricultural innovation systems.* Washington, DC: World Bank.
- **Stads, G., Beintema, N., Perez, S., Flaherty, K., y Falconi, C. 2016.** *Agricultural research in Latin America and the Caribbean: A cross-country analysis of institutions, investment, and capacities.* ASTI Synthesis Report. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute and Inter-American Development Bank.

- **Stads, G., y de los Santos, L. 2023.** *Agricultural R&D Indicators Factsheet: Honduras*. Washington, DC: Inter-American Development Bank.
- **Stads, G., Nin Pratt, A., Wiebe, K. Sulser, T., y Benfica, R. 2023.** Public investment in agri-food system innovation for sustainable development. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 10 (1), 124-134.
- **Trigo, E., Mateo, N., y Falconi, C. 2013.** Innovación Agropecuaria en América Latina y el Caribe: Escenarios y mecanismos institucionales. *Technical Note No. IDBTN-528*. Washington, D.C.: Inter-American Development Bank.
- **UC Davis, Chile Life Sciences Innovation Center. 2020.** *Reporte: Nuestros primeros 5 años de vida*. <https://develop.ucdavischile.org/reporteUCDavisChile/> [Consultado en marzo, 2023]
- **UNPD (United Nations Population Division). 2022.** *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3. New York: United Nations.
- **USDA-ERS (United States Department of Agriculture, Economic Research Service). 2023.** International Agricultural Productivity Database. <http://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity/> [Consultado en febrero, 2023]
- **World Bank. 2006.** *Enhancing Agricultural Innovation: How to Go Beyond the Strengthening of Research Systems*. Washington, DC: World Bank.
- **World Bank. 2011.** *Chile's Agricultural Innovation System: An Action Plan Towards 2030*. Washington, D.C.: World Bank.
- **World Bank. 2020.** *Future foodscapes: Re-imagining Agriculture in Latin America and the Caribbean*. Washington, D.C.: World Bank.
- **World Bank. 2023.** World Development Indicators. <http://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/> [Consultado en febrero, 2023]

ANEXO A.

SISTEMAS ALIMENTARIOS E INNOVACIÓN

A.1. EL SISTEMA ALIMENTARIO

A.1.1. Factores que impulsan la transformación de los sistemas alimentarios

Metacondicionadores

Reardon (2019) identifica tres metafactores cruciales detrás del desarrollo de los sistemas alimentarios (SA):

- Un primer factor de atracción crucial es el crecimiento de los ingresos y la población. El crecimiento de los ingresos y el aumento del costo de oportunidad del tiempo a medida que las mujeres trabajan fuera del hogar en áreas urbanas y rurales conducen a cambios en la dieta y en las compras.
- En segundo lugar, la política de liberalización y privatización conduce a una minimización del papel directo del gobierno en los sistemas alimentarios, con la intervención del sector privado para reemplazarlo, e incentivado por el desarrollo de mercados urbanos.
- El tercer metacondicionador clave del desarrollo del sistema alimentario es la infraestructura, que reduce los costos de transacción y constituye la base para el desarrollo de la cadena de suministro de alimentos desde las zonas rurales hasta las ciudades y pueblos.

Urbanización

La creciente urbanización transforma los sistemas alimentarios de cadenas de suministro cortas y locales que sirven a pueblos y ciudades cercanas a cadenas de suministro largas y nacionales

(o internacionales), donde la producción puede ubicarse lejos de los centros de consumo.

Cambio de dieta

Se producen tres cambios principales en las dietas y el destino final de los alimentos:

- En primer lugar, a medida que aumenta el ingreso, hay un cambio hacia una mayor proporción de productos no básicos en la dieta. Esto implica un crecimiento desproporcionado de las cadenas productivas de productos no básicos (verduras y frutas, carnes, pescados, lácteos y aceites comestibles).
- En segundo lugar, con el desarrollo de los sistemas alimentarios, la dieta se desplaza hacia los productos procesados y comprados.
- Finalmente, con una demanda creciente de productos pecuarios, hay un rápido aumento en la demanda de cereales como granos forrajeros.

A.1.2. Transformación y estructura de los sistemas alimentarios

Según Reardon (2019), la transformación de los sistemas alimentarios se produce en tres etapas de cambio estructural.

- Sistema tradicional: espacialmente corto (local) y fragmentado, utilizando tecnologías con poco capital y mucha mano de obra, sin contratos ni estándares formales, y mercados al contado que vinculan todos los segmentos.
- Sistema de transición: espacialmente extenso a medida que las ciudades crecen y su área de

captación se vuelve cada vez más grande, pero aún fragmentada. Los actores de la cadena utilizan una combinación de tecnologías intensivas en capital y mano de obra, y existe una demanda emergente de estándares públicos de calidad, pero las relaciones del mercado al contado aún dominan.

- Sistema moderno: espacialmente largo en todos los niveles de la cadena de valor; hay un surgimiento de estándares y contratos de calidad, y la intensificación del capital es común, ya que el sistema moderno normalmente coincide con salarios más altos en la economía y se exige más control de calidad y seguridad por parte de la industria de alimentos.

Hay varias dimensiones en la transformación estructural de los sistemas alimentarios. Reardon (2019) destaca a) la expansión, que implica un crecimiento exponencial del tamaño del sistema alimentario con el desarrollo; b) elongación, que Reardon define como el crecimiento de las cadenas de suministro de alimentos de las zonas rurales a las urbanas y el crecimiento de las cadenas de las zonas rurales a las zonas rurales y de las zonas urbanas a las urbanas.

Cambio en la estructura de la organización industrial:

- a) Aumento de los segmentos posteriores a la puerta de la finca.
- b) Aparición de pequeñas empresas del sistema alimentario no agropecuarias.
- c) Concentración y desintermediación.

Cambio de conducta:

- a) Transferencia endógena de tecnologías producidas en otros países.
- b) Centrarse en las tecnologías agropecuarias, desde el mejoramiento y la gestión hasta aquellas que vinculan el ciclo del producto con el mejoramiento y la comercialización.
- c) Insumos distintos de semillas para apoyar la intensificación agropecuaria.
- d) El cambio tecnológico posterior a la puerta de la finca es el resultado de un aumento en las tasas salariales y un capital más barato que induce la intensificación del capital intermedio y descendente, y la mejora del capital productivo.
- e) Innovaciones logísticas: Innovaciones de escala de procesamiento y agrupamiento, innovaciones en congelación y envasado, monitoreo de seguridad.

La información detallada sobre los datos e índices utilizados para construir el FSDI se presenta en la **tabla A.1**.

Tabla A.1. Componentes del Índice de desarrollo del sistema alimentario

Indicador	Nombre de la variable	Definición	Fuente	Período
ÍNDICE DE DESARROLLO DEL SISTEMA ALIMENTARIO	FSDI	FSDI = (Idiet + Isupply) × 0,5	–	–
DIETA	Idiet	Idiet = (Diet_div + Prot_animal) × 0,5	–	–
Diversificación de la dieta	Diet_div	Una medida de la proporción de alimentos sin almidón (todos los alimentos excepto cereales, raíces y tubérculos) en el consumo total de energía alimentaria.	FAO (2022)	2011-2016
Consumo de proteína animal	Prot_animal	Suministro de proteína animal para consumo humano (gr/persona/año)	FAO (2022)	2011-2016
OFERTA	Isupply	Isupply = (Ikindens + Ivchain) × 0,5	–	–
Intensidad del capital a nivel de finca	Ikindens	$Ikindens = 0,07 \times \ln(Fert_wk) + 0,001 \times \ln(Ph_wk) + 0,41 \times \ln(Feed_wk) + 0,21 \times \ln(Mach_wk) + 0,3 \times \ln(Irri_wk)$. Las ponderaciones para sumar los valores de intensidad de insumos individuales se obtienen de la regresión de la productividad laboral frente a las intensidades individuales y la población animal, y la tierra por trabajador. El stock de animales y la tierra por trabajador no están incluidos en el índice.	USDA-ERS (2022)	2011-2016
• Fertilizante/trabajadores	Fert_wk	Consumo de fertilizantes de toneladas métricas de N, P2O5, K2O	USDA-ERS (2022)	2011-2016
• Pesticidas y herbicidas/obrero	Ph_wk	Cantidades (en toneladas de ingredientes activos) de plaguicidas utilizados o vendidos al sector agropecuario para cultivos y semillas.	USDA-ERS (2022)	2011-2016
• Maquinaria/trabajadores	Mach_wk	El stock total de maquinaria agropecuaria en "equivalentes a tractores de 40 CV" (CV=caballos de fuerza métricos), agregando el número de tractores de dos ruedas, tractores de cuatro ruedas, cosechadoras y trilladoras.	USDA-ERS (2022)	2011-2016
• Área regada/trabajador	Irri_wk	Superficie equipada para riego	FAO (2022)	2011-2016
• Alimentación animal/trabajador	Feed_wk	Energía metabolizable total (EM) en alimentos para animales de todas las fuentes, en 1000 Mcal (Mcal=megacalorías)	USDA-ERS (2022)	2011-2016
Desarrollo de la cadena de valor	Ivchain	$Ivchain = (Qsupplier + Cluster + Vchbreadth + Psophistication + Marketing + Grocery) \times (1/6)$	–	–
• Calidad del proveedor local	Qsupplier	[1 = calidad extremadamente mala; 7 = calidad extremadamente alta]	Schwab (2018)	2011-2014
• Estado de desarrollo del clúster	Cluster	Desarrollo y profundidad de los clústeres (concentración geográfica de empresas, proveedores, productores de productos y servicios relacionados e instituciones especializadas en un campo particular). [1 = inexistente; 7 = generalizado en muchos campos]	Schwab (2018)	2011-2014
• Amplitud de la cadena de valor	Vchbreadth	Presencia de empresas en la cadena de valor [1 = estrecha, involucrada principalmente en pasos individuales de la cadena de valor (p. ej., extracción o producción de recursos); 7 amplio, presente en toda la cadena de valor (p. ej., incluida la producción, el marketing, la distribución, el diseño, etc.)]	Schwab (2018)	2011-2014
• Sofisticación del proceso de producción	Psophistication	[1 = en absoluto: la producción utiliza procesos intensivos en mano de obra; 7 = altamente: la producción utiliza las últimas tecnologías]	Schwab (2018)	2011-2014
• Alcance de la comercialización	Marketing	Éxito de las empresas en el uso del marketing para diferenciar sus productos [1= nada exitoso; 7 = extremadamente exitoso]	Schwab (2018)	2011-2014
• Presencia del sector formal de minoristas	Grocery	[0 = Presencia mínima, 1 = Presencia moderada, 2 = Presencia generalizada]	Schwab (2018)	2011-2014

Fuente: Nin-Pratt y Stads (2023).

A.2. EL SISTEMA DE INNOVACIÓN

El enfoque para analizar la innovación abarca no solo a los proveedores de ciencia, sino que se extiende a los factores que afectan la demanda y el uso del conocimiento, como señala el Banco Mundial (2006). Spielman y Birner (2008) proponen un marco conceptual del sistema de innovación agropecuaria (SIA) que captura sus elementos esenciales, los vínculos entre sus componentes y las instituciones y políticas que constituyen el entorno propicio para la innovación. Estos elementos esenciales son:

- A. El dominio del conocimiento y la educación, compuesto por los sistemas de investigación y educación agropecuaria.
- B. El dominio comercial y empresarial, que incluye el conjunto de actores y actividades de la cadena de valor que utilizan los

resultados del dominio del conocimiento y la educación, e innovan de forma independiente.

- C. Instituciones puente, que vinculan los dos dominios, incluidos los servicios de extensión, los canales políticos y las plataformas de partes interesadas que facilitan la transferencia de conocimientos e información entre dominios.
- D. Condiciones de contexto que fomentan o impiden la innovación, incluidas las políticas públicas sobre innovación y agricultura, e instituciones informales que condicionan cómo actúan e interactúan las personas y las organizaciones dentro de cada dominio.

El índice de innovación utilizado en este estudio se construyó con base en estos elementos esenciales. La **tabla A.2** presenta detalles sobre el índice y sus fuentes.

Tabla A.2. Índice de capacidad de innovación (ICI) y sus componentes

Indicador	Nombre de la variable	Definición	Valores originales	Fuente	Período
ÍNDICE DE CAPACIDAD DE INNOVACIÓN	ICI	ICI = (Ihcapital+Iresearch+Ienvironment+Ipolicy+Iinstitutions) * (1/5)			
CAPITAL HUMANO	Ihcapital	Ihcapital = 0,62 * Ienrol + 0,38 * Ieduqual			
Inscripción	Ienrol	Ienrol = (Prim+Sec+Ter+Ysch) * (1/4)			
• Educación primaria	Prim	La tasa bruta de matrícula es la relación entre la matrícula total, independientemente de la edad, y la población del grupo de edad que oficialmente corresponde al nivel de educación que se muestra	Value	World Bank (2022)	2011-2016
• Educación Secundaria	Sec				
• Educación terciaria	Ter				
• Años de escolaridad	Ysch	Número promedio de años que las personas mayores de veinticinco años participaron en la educación formal	Value	Barro & Lee	2010
Calidad de educación	Iqedu	Iqedu = (Qmath + Qprim + Qedu) * (1/3)		Schwab (2019)	2011-2014
• Calidad de la educación matemática	Qmath	Calidad de la educación en matemáticas y ciencias	[1 = extremely poor-among the worst in the world; 7 = excellent-among the best in the world]	Schwab (2019)	2011-2014
• Calidad de la educación primaria	Qprim	Calidad de la educación primaria		Schwab (2019)	2011-2014
• Calidad de educación	Qedu	Grado en que el sistema educativo satisface las necesidades de una economía competitiva	[1 = not well at all; 7 =extremely well]	Schwab (2019)	2011-2014
INVESTIGACIÓN	Iresearch	Iresearch = (UI+ SCIpapers+Hbio+Hcomp+Heng) * (1/5)			
• Colaboración universidad-industria	UI	Colaboración universidad-industria en investigación y desarrollo	1-7 Best		
• Artículos científicos	SCIpapers	Número de publicaciones en bioquímica, genética, biología molecular, informática e ingeniería por persona matriculada en educación terciaria	Value		
• Calidad de las publicaciones en bioquímica, genética y biología molecular	Hbio	H índice de bioquímica, genética y biología molecular	Value	Schwab (2019)	2011-2014
• Calidad de las publicaciones en ciencias de la computación	Hcomp	H índice informática	Value		
• Calidad de las publicaciones en Ingeniería	Heng	H ingeniería de índices	Value		

Tabla A.2. Índice de capacidad de innovación (ICI) y sus componentes (continuación)

Indicador	Nombre de la variable	Definición	Valores originales	Fuente	Período
ENTORNO DE INNOVACIÓN	lenvironment	lenvironment = 0,87 * linnov+0,13 * lopen			
Entorno de inversión	linnov				
Apertura	lopen				
• Competencia local	IE_1	La intensidad de la competencia del mercado local	1-7 Best		
• Científicos e ingenieros	IE_2	Disponibilidad de científicos e ingenieros	1-7 Best		
• Capacidad de atracción de talento	IE_3	Capacidad del país para atraer talento, 1-7 (best)	1-7 Best	Schwab (2019)	2011-2016
• Capacidad para retener el talento	IE_4	Capacidad del país para retener talento, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Educación continuada	IE_5	Alcance de la formación del personal, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Disponibilidad financiera	IE_6	Accesibilidad de los servicios financieros, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Acceso a préstamos	IE_7	Facilidad de acceso a préstamos, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Capital de riesgo	IE_8	Disponibilidad de capital de riesgo, 1-7 (best)	1-7 Best	Schwab (2019)	2011-2016
• Disponibilidad de formación	IE_9	Disponibilidad de servicios de investigación y formación, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Importaciones	IE_10	Importaciones como porcentaje del PIB	Value		
• I+D inversión	IE_11	Gastos corrientes y de capital (tanto públicos como privados) en investigación y desarrollo (I+D), expresados como porcentaje del PIB. Abarca la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental.	Value	World Bank (2022)	2011-2016
POLÍTICA DE INNOVACIÓN	lpolicy	lpolicy = 0,81 * Apc1 + 0,19 * Apc2			
• Propiedad intelectual	IP_1	Protección de la propiedad intelectual, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Impuestos e inversión	IP_2	Efecto de la tributación sobre los incentivos para invertir	1-7 Best	Schwab (2019)	2011-2016
• Protección del inversor	IP_3	Fortaleza de la protección del inversor	0-10 Best		
• FDI tech	IP_4	Inversión extranjera directa y transferencia de tecnología	1-7 Best		

Fuente: Nin-Pratt y Stads (2023).

Tabla A.2. Índice de capacidad de innovación (ICI) y sus componentes (continuación)

Indicador	Nombre de la variable	Definición	Valores originales	Fuente	Período
• FDI rules	IP_5	Impacto empresarial de las normas sobre la IED	1-7 Best	Schwab (2019)	2011-2016
• Property rights	IP_6	Derechos de propiedad (WEF)	1-7 Best		
• Número de días para iniciar un negocio	IP_7	Número de días para iniciar un negocio	Value		
• Regulación gubernamental	IP_8	La carga de la regulación gubernamental, 1-7 (best)	1-7 Best		
CALIDAD DE LAS INSTITUCIONES	linstitutions	linstitutions = (0,89 * lcorrupt + 0,11 * lcrime)			
Corrupción	lcorrupt	lcorrupt=First principal component of QI1-QI13			
Criminalidad	lcrime	lcrime=Second principal component of QI1-QI13			
• Soborno	QI1	Irregular payments and bribes, 1-7 (best)	1-7 Best	Schwab (2019)	2011-2014
• Independencia de la justicia	QI2	Independencia de la justicia, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Legal 1	QI3	Eficiencia del marco legal en la impugnación de regulaciones, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Legal 2	QI4	Eficiencia del marco legal en la solución de controversias, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Política	QI5	Transparencia en la formulación de políticas gubernamentales, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Favoritismo del gobierno	QI6	Favoritismo en las decisiones de los funcionarios gubernamentales, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Fuerza de la auditoría	QI7	Fortaleza de las normas de auditoría y presentación de informes, 1-7 (best)	1-7 Best		
• Confiabilidad policial	QI8	Confiabilidad de los servicios policiales	1-7 Best		
• Carga aduanera	QI9	Carga de los trámites aduaneros	1-7 Best		
• Costo del crimen	QI10	Costos comerciales del crimen y la violencia	1-7 Best		
• Costo del terrorismo	QI11	Costos comerciales del terrorismo	1-7 Best		
• Crimen organizado	QI12	Crimen organizado	1-7 Best		
• Confianza en los políticos	QI13	Confianza pública en los políticos	1-7 Best		

Fuente: Nin-Pratt y Stads (2023).

ANEXO B.

INDICADORES PARA EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LOS SISTEMAS DE INVESTIGACIÓN

Para evaluar el desempeño general de los sistemas nacionales de I+D agropecuaria en ALC, el análisis de esta sección se basa en dos fuentes de datos principales:

1. Los datos de la base de datos ASTI del IFPRI (2023)

Brindan información detallada sobre la estructura institucional, la capacidad, los gastos y la estructura de financiamiento de los sistemas de investigación agropecuaria. ASTI actualizó recientemente sus conjuntos de datos al 2020 para diez países de ALC (Belice, Bolivia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y Perú) con el apoyo del BID (ver Sección 3). Los datos ASTI disponibles para el resto de los países de ALC solo cubren el período hasta 2013. Para estimar los niveles de inversión en I+D agropecuaria de estos países en años más recientes, se realizaron extrapolaciones basadas en sus tasas de crecimiento anual del PIB agropecuario.

2. Los datos de SCImago (2023)

Brindan información detallada sobre el número total y la calidad de las publicaciones en cien-

cias biológicas y agropecuarias agregadas a nivel país para representar el resultado directo de la investigación.

Con base en estas dos fuentes de datos, se seleccionaron y compilaron las siguientes variables e indicadores para brindar una comprensión integral del desempeño del sistema de investigación.

- **Número de artículos publicados:** El número de artículos publicados en ciencias agropecuarias y biológicas (SCImago, 2023), y el índice H —un indicador de cantidad y calidad de las publicaciones (Hirsch, 2005)— se utilizan como medidas de producción científica. Estas variables permiten conocer el desarrollo de las ciencias agropecuarias, el sistema de investigación en el país y el grado de integración con la comunidad científica mundial en este campo.⁵
- **Gasto en I+D por publicación:** Este indicador vincula la producción científica de los sistemas de investigación con los costos incurridos para generar esos resultados de investigación. Su valor depende de la productividad de los investigadores y del costo por investigador.

5. La producción científica de los sistemas de investigación, a menudo, se mide por el número de artículos publicados. Sin embargo, este es solo un tipo de resultado de la investigación con otros que incluyen nuevas variedades de cultivos, razas de ganado mejoradas, nuevos insumos e intangibles como nuevos procesos y una asignación de recursos más eficiente. Desafortunadamente, los datos sobre estos otros resultados de la investigación no están disponibles para las comparaciones de países a este nivel. Sin embargo, generalmente se asume que los artículos publicados son un subproducto de la investigación sobre nuevas tecnologías y, por lo tanto, sirven como un reflejo de la productividad y la calidad de la investigación que se lleva a cabo en un país. Dada esta suposición, los autores concluyeron que las bibliografías de publicaciones científicas en ciencias biológicas y agropecuarias son la fuente de información más confiable para comparar los resultados y procesos de investigación entre países. Para desarrollar una medida ajustada por calidad del resultado de la investigación, los autores utilizaron datos sobre el número de publicaciones y su Índice H de SCImago (2023). Como resultado, produjeron una medida ajustada por calidad del resultado de la investigación para los artículos científicos publicados en los campos de la agricultura y la biología.

Los costos del sistema de investigación se obtienen de ASTI y se usan en combinación con la medida de producción descrita anteriormente para calcular el costo de investigación por unidad de producción para cada país.

- **Costo y producción por investigador:** El gasto en I+D por publicación se puede descomponer en costo por investigador ETC y el número de publicaciones por investigador ETC, una medida de la productividad. Cuanto más productivos son los investigadores, menor es el costo por publicación. Un mayor gasto por investigador aumenta el costo de las publicaciones, pero también se traduce en una mayor productividad. Esto significa que mayores costos por investigador podrían reducir el costo por unidad de producción si el crecimiento de la productividad compensa los aumentos en el costo por investigador.
- **Estructura de costos:** Los datos de gastos de investigación de ASTI se pueden desglosar por costos salariales, costos operativos e inversiones de capital. La estructura de costos de la

investigación se analiza utilizando dos indicadores: la participación de cada una de las tres categorías de costos en los costos totales de I+D y las relaciones entre los valores de cada una de las tres categorías de costos.

- **Tamaño del sistema de I+D agropecuaria:** Se utilizan dos variables para representar el tamaño del sistema en un país: a) gasto medio en I+D y b) número total de investigadores FTE en agricultura. Estas variables brindan información sobre la escala del sistema de investigación de un país y los recursos disponibles para la investigación agropecuaria.
- **Composición institucional de la investigación agropecuaria pública:** Los indicadores de este grupo ilustran cómo se distribuye el gasto en I+D de un país entre las agencias gubernamentales de investigación, las agencias de educación superior y las organizaciones sin fines de lucro, lo que brinda información valiosa sobre el papel del sector público en el apoyo a la investigación agropecuaria.

ANEXO C. PRODUCCIÓN, PRODUCTIVIDAD E I+D

C.1. MODELO DE PRODUCCIÓN

El análisis de producción y productividad adopta una representación del modelo estándar de función de producción Cobb-Douglas linealizado logarítmicamente. Se discuten todas sus características en detalle a continuación. Formalmente, para periodos de tiempo $t = 1, \dots, T$, países $i = 1, \dots, I$, e insumos $n = 1, \dots, N$, siendo y_t y x_{nt} el logaritmo de la producción agropecuaria n , respectivamente. La producción agropecuaria total en el año t expresada en logaritmos resulta de sumar el insumo total y la PTF no observada (tfp_{it}), donde β_{in} es la elasticidad de producción del insumo n en el país i .

$$C.1 \quad y_{it} = tfp_{it} + \sum_n \beta_{in} x_{int}$$

Como en Griliches (1979), se supone que la PTF es una función de los niveles anteriores de gasto en I+D y varios otros factores (clima, *shocks* de mercado, políticas, etc.) incluidos en μ_{it} .

$$C.2 \quad tfp_{it} = \alpha_{i0} + \alpha_i \ln[\sum_{s=1} \omega_{it-s} RD_{it-s}] + \mu_{it}$$

El parámetro α_{i0} representa el nivel de PTF en el país i , que resulta de factores fijos específicos para el país i , mientras ω_{it-s} representa la fracción de DR invertida en el período $t-s$ que contribuye a la PTF en el período t . Por ejemplo, ω_{it-s} podría estar reflejando la depreciación del RD total invertido en $t-s$ entre $t-s$ and t . Se define el acervo de conocimientos del país i como la suma ponderada de todas las inversiones pasadas en I+D, el término entre paréntesis en la ecuación (C.2), siendo α_i la fracción del acervo de conocimiento que contribuye al nivel de la PTF o, en términos de cambio, es la elasticidad RD o el cambio en la PTF que resulta de un aumento del 1% en el acervo de conocimiento.

$$C.3 \quad tfp_{it} = \alpha_{i0} + \alpha_i KS_{it} + \mu_{it}$$

Si el capital de conocimiento analizado hasta ahora (KS) es el resultado de la inversión pública en I+D, la misma idea se aplica a la I+D privada, por lo que la inversión privada en I+D en el país i da como resultado un acervo de conocimiento privado. Además, la inversión directa en I+D (pública y privada) no es la única fuente de conocimiento de la que dispone un país. El conocimiento se extiende a otros países que no pagan el costo total de acceder y utilizar el conocimiento. El proceso de transmisión de conocimientos de un actor a otro sin una acción deliberada se denomina *derrame de conocimientos*. Se supone que el conocimiento producido por el país j está parcialmente disponible para el país i en función de la "distancia" entre los dos países. En el caso de la agricultura, cuanto menor es la diferencia en clima, agroecologías y sistemas de producción y tecnología, menor es la "distancia" entre los dos países. También se tiene en cuenta la distancia geográfica, lo que significa que, cuanto más corta sea esta distancia entre países, más probable será que estos países reciban conocimientos mutuos. Por último, la PTF no solo está impulsada por la acumulación de conocimientos de diferentes orígenes, sino que también se ve afectada por otros factores como el clima, las crisis de los mercados, las innovaciones no generadas por la investigación, las políticas y las inversiones que mejoran el entorno económico para la agricultura, entre otros. Descomponiendo el término μ_{it} en la ecuación (B.3) para representar explícitamente estos impulsores da como resultado la ecuación (C.4).

$$\text{C.4} \quad tfp_{it} = \alpha_{0i} + \alpha_i^{pb} KS_{it}^{pb} + \alpha_i^{pv} KS_{it}^{pv} + \alpha_i^{sp} SP_{it} + \sum_f \gamma_{if} W_{if} + \varphi_{it}$$

Donde W_f son variables climáticas con $f = \{\text{precipitación, temperatura}\}$, y KS representa el acervo de conocimientos; por otro lado, pb y pv se refieren a los acervos de conocimientos públicos y privados y sus respectivas elasticidades, mientras que KS^{sp} es el acervo de conocimientos que resulta de la difusión de conocimientos de otros países mostrados en la ecuación (C.5).

$$\text{C.5} \quad SP_{it} = \sum_{j \neq i} d_{ij} KS_{jt}$$

En la ecuación (C.5) KS_{jt} representa el acervo de conocimientos del país j y d_{ij} es la distancia entre los países i y j . En este caso, SP_{it} es un término genérico para representar todos los derrames hacia el país i , pero esto podría descomponerse aún más en derrames hacia i provenientes de la inversión pública ($SP_{pb_{it}}$) y privada ($SP_{pv_{it}}$) en otros países, y efectos derrames de la inversión en I+D de los centros de investigación internacionales ($SP_{cg_{it}}$).

C.2. CALIBRACIÓN

En este estudio, nuestro principal interés es medir el impacto de la inversión pública en I+D agropecuaria de un país sobre el crecimiento de la PTF y separar estos efectos de los efectos de derrame públicos y privados de otros países y de los centros de investigación internacionales (CGIAR). Para ello, se calibró el modelo de producción representado por las ecuaciones (C.1) y (C.5) para rastrear el récord histórico de producción de 92 países durante el período 1991-2020. Las variables históricas observables son la producción y los insumos agropecuarios totales (USDA-ERS, 2023), la inversión pública en I+D de ASTI (2022) y la inversión privada en I+D de Fuglie (2016), junto con información histórica parcial sobre las elasticidades de la producción y la I+D. El modelo está calibrado para reproducir la producción agrícola histórica estimando los

parámetros de elasticidad utilizando un enfoque de Máxima Entropía (ME) (ver por ejemplo Arndt et al., 2002). Este enfoque permite utilizar todos los datos disponibles y la información previa sobre los valores de los parámetros, e introducir todas las restricciones relevantes para reproducir mejor el rendimiento pasado, pero no asume ninguna información que no tengamos. Una versión compacta del modelo calibrado es la siguiente.

$$\text{C.6} \quad y_{it} = \sum_n \beta_{in} x_{int} + \alpha_{0i} + \alpha_i SRD_{it} + \sum_f \gamma_{if} W_{if} + \sum_h \tau_{ih} F_{ih} + \varepsilon_{it}$$

Donde SRD representa todas las existencias de I+D (inversión pública y privada propia, y la acumulación de conocimiento derramado), x_{int} y W_{if} son insumos y variables climáticas respectivamente, y F_{ih} representa otros factores que afectan la producción. Cada uno de los parámetros desconocidos para los cuales tenemos información a priori (β_{in} , α_i) se tratan como variables aleatorias discretas expresadas como:

$$\text{C.7} \quad \beta_{in} = \pi_{ink}^{\beta} z_{ink}^{\beta} + \varepsilon_{ink}^{\beta}$$

$$\text{C.8} \quad \alpha_{ik} = \pi_{ik}^{\alpha} z_{ik}^{\alpha} + \varepsilon_{ik}^{\alpha}$$

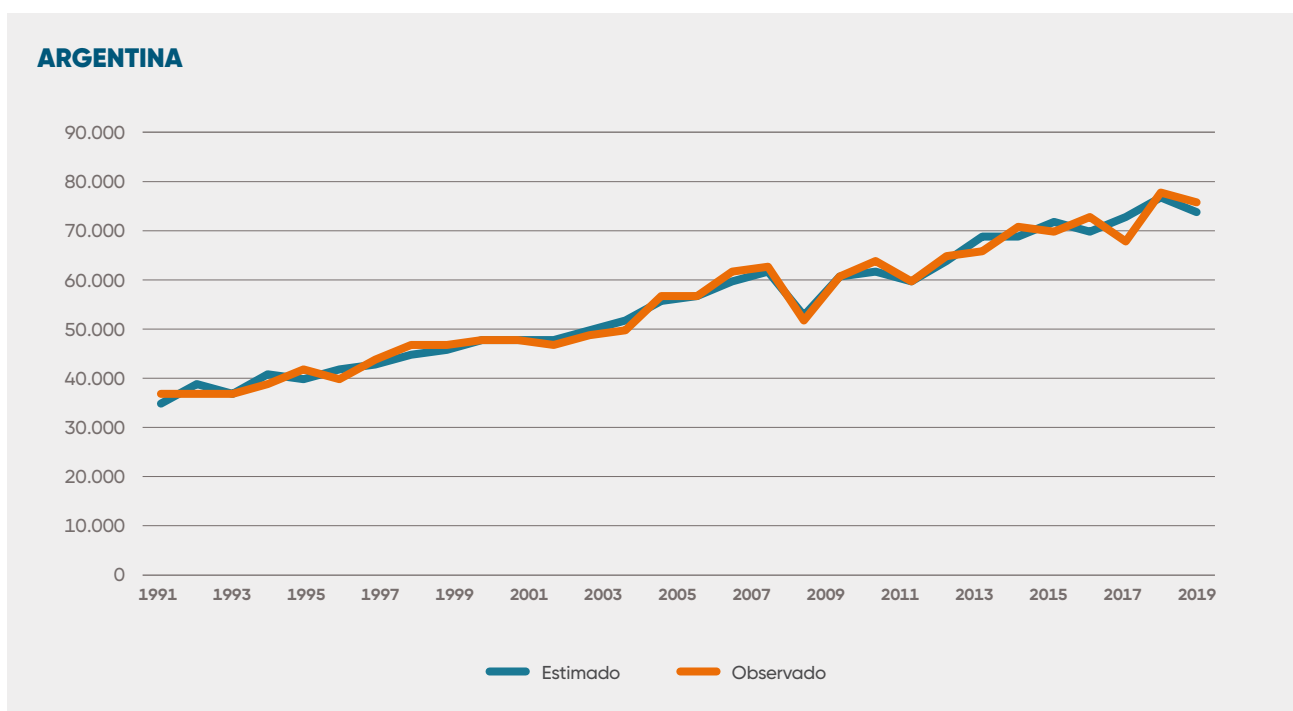
donde z_{ink}^{β} y z_{ik}^{α} representan el rango de valores k que β y α pueden tomar basándose en información a priori, π_{ink}^{β} y π_{ik}^{α} son las probabilidades respectivas de ocurrencia de esos valores (deben ser no negativos y suma uno). De manera similar, cada término de error (ε_{it} , $\varepsilon_{ink}^{\beta}$, $\varepsilon_{ik}^{\alpha}$) se trata como una variable aleatoria finita y discreta con su respectiva probabilidad de resultado (π_{ik}^{ε} , $\pi_{ink}^{\varepsilon\beta}$, $\pi_{ik}^{\varepsilon\alpha}$). Cada una de las probabilidades π se estima mientras que los valores a priori de esas probabilidades (P_{ik}^{ε} , $P_{ink}^{\varepsilon\beta}$, $P_{ik}^{\varepsilon\alpha}$) se utilizan para la estimación junto con sus respectivos valores de soporte. Parámetros del clima y variables F en la ecuación (C.6) (γ_{if} , τ_{ih}) se estiman sin la imposición de una distribución previa. Los soportes z se especifican con cinco puntos, lo que permite recuperar información sobre momentos superiores de la distribución.

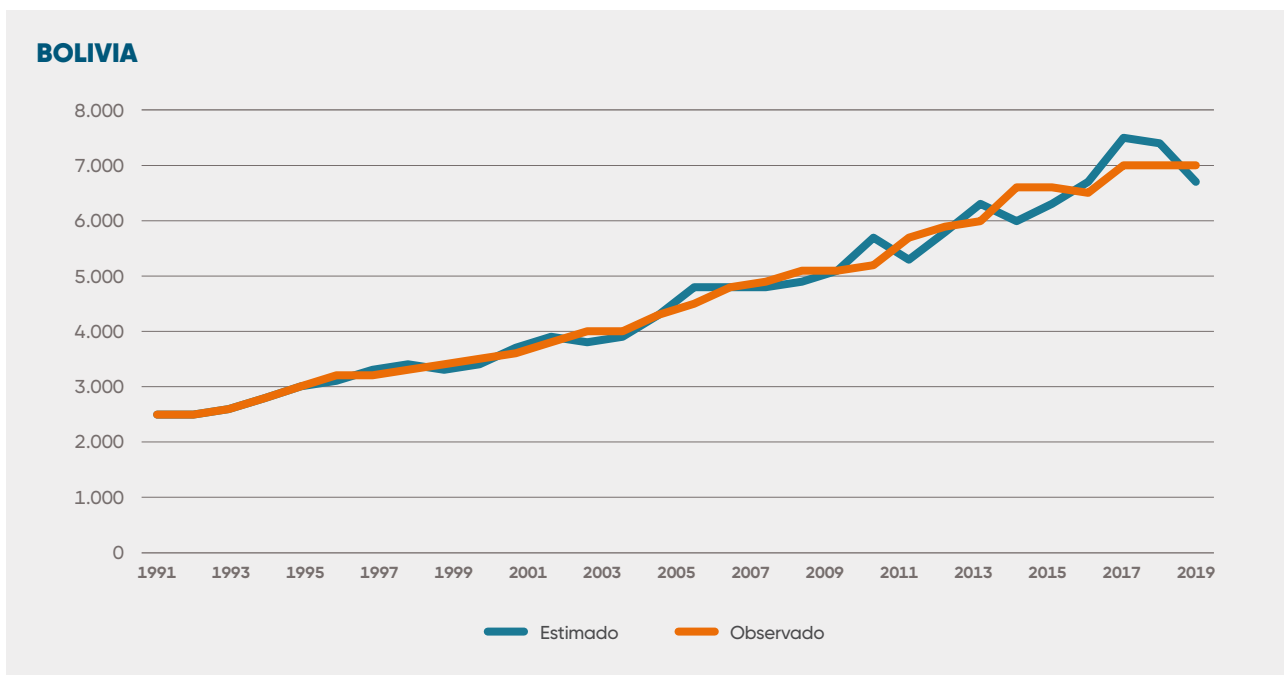
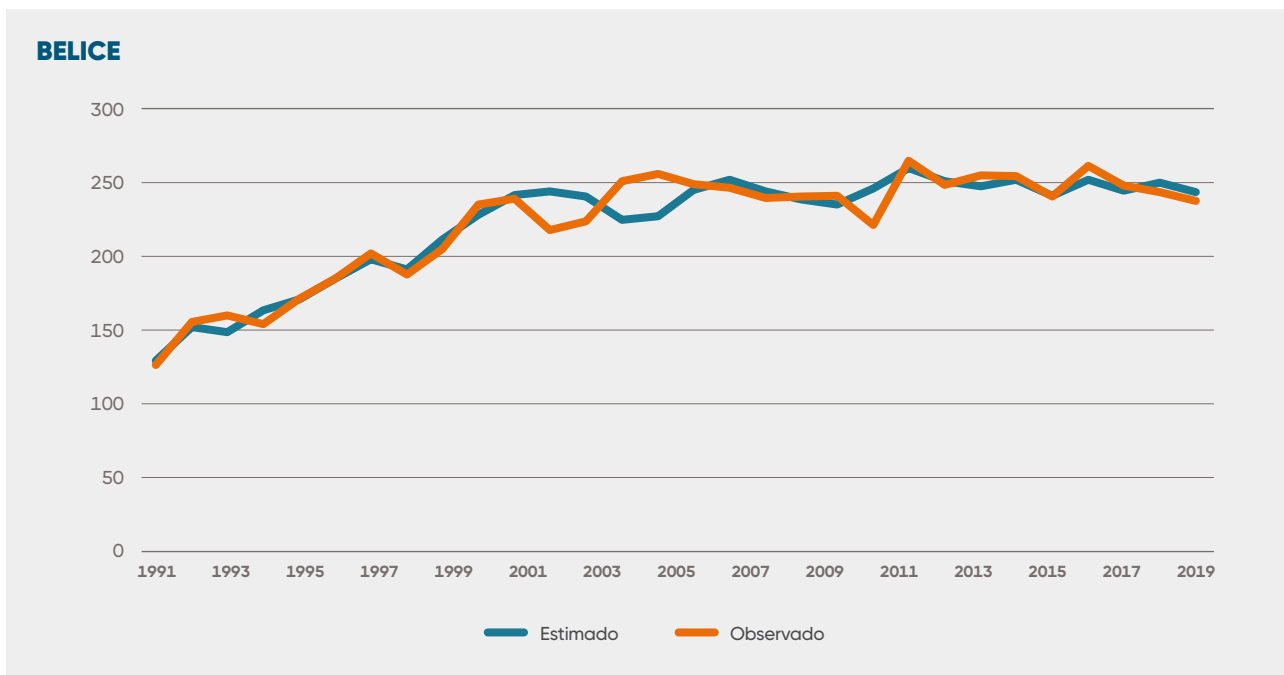
El problema se resuelve para minimizar la divergencia entre la distribución anterior y la distribución deseada sujeta a la función de producción y las restricciones con probabilidades esperadas

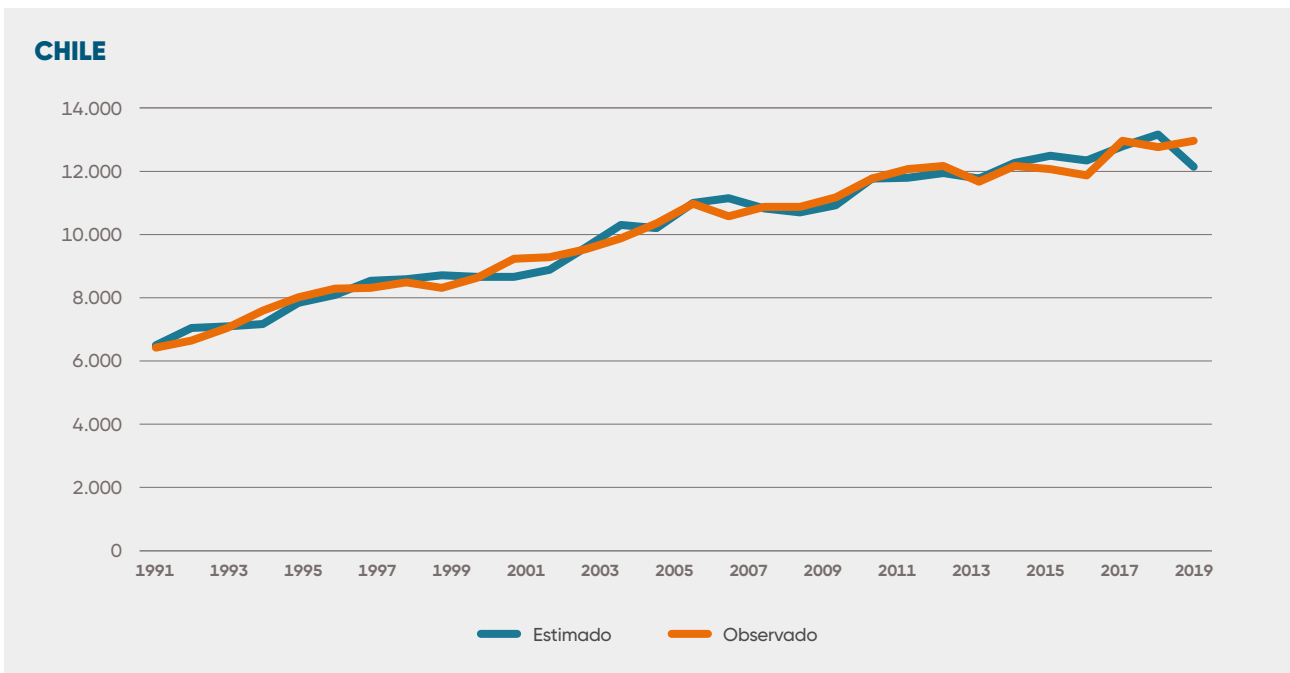
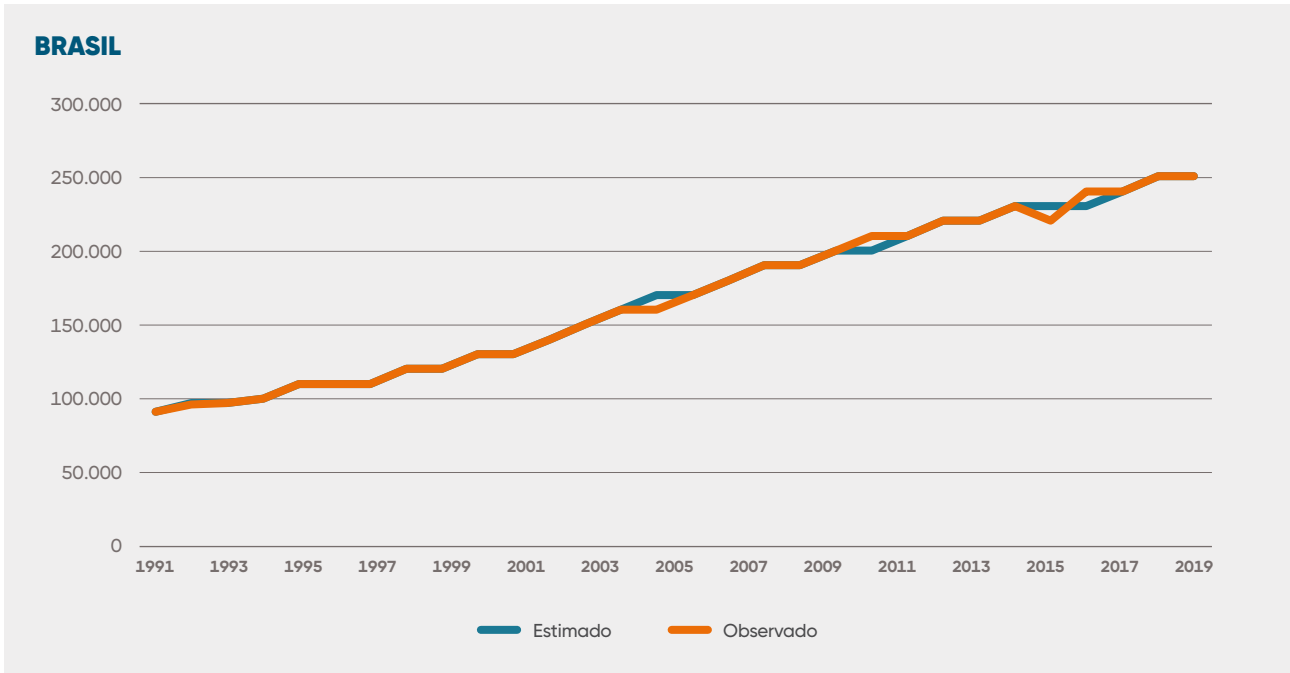
y valores de soporte, como se explicó anteriormente. La **figura C.1** muestra los valores observados y estimados del producto para los diecisiete países de ALC incluidos en el análisis.

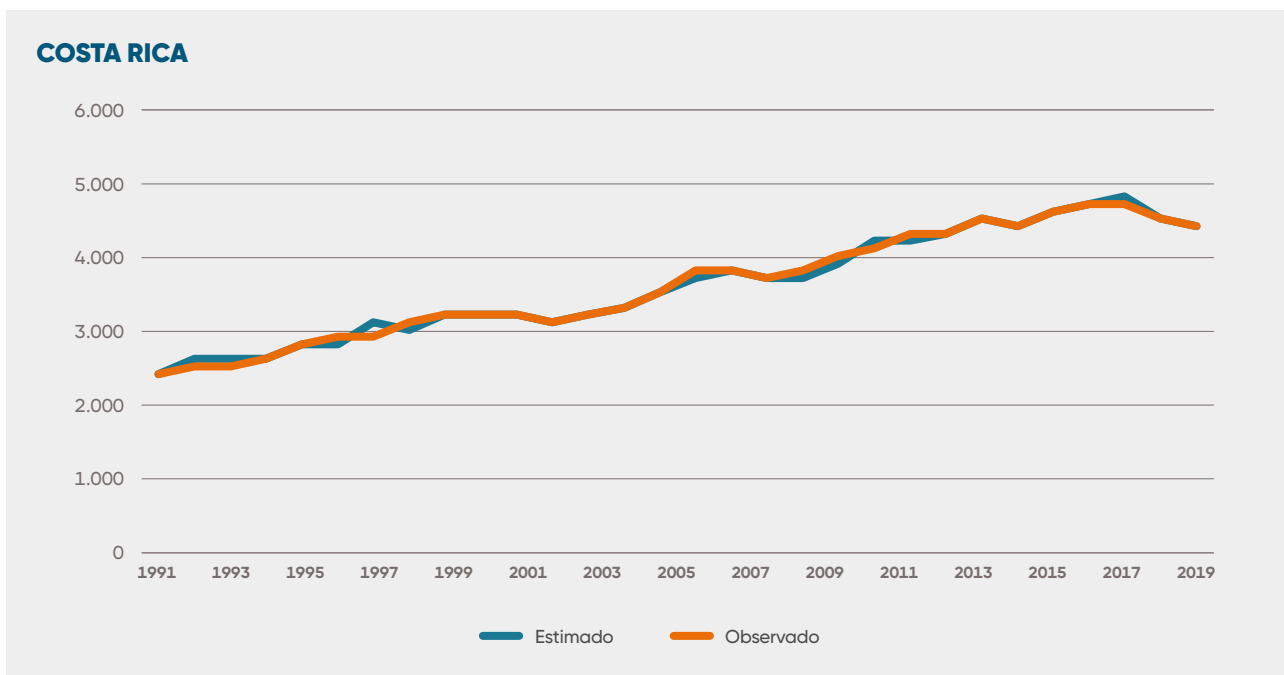
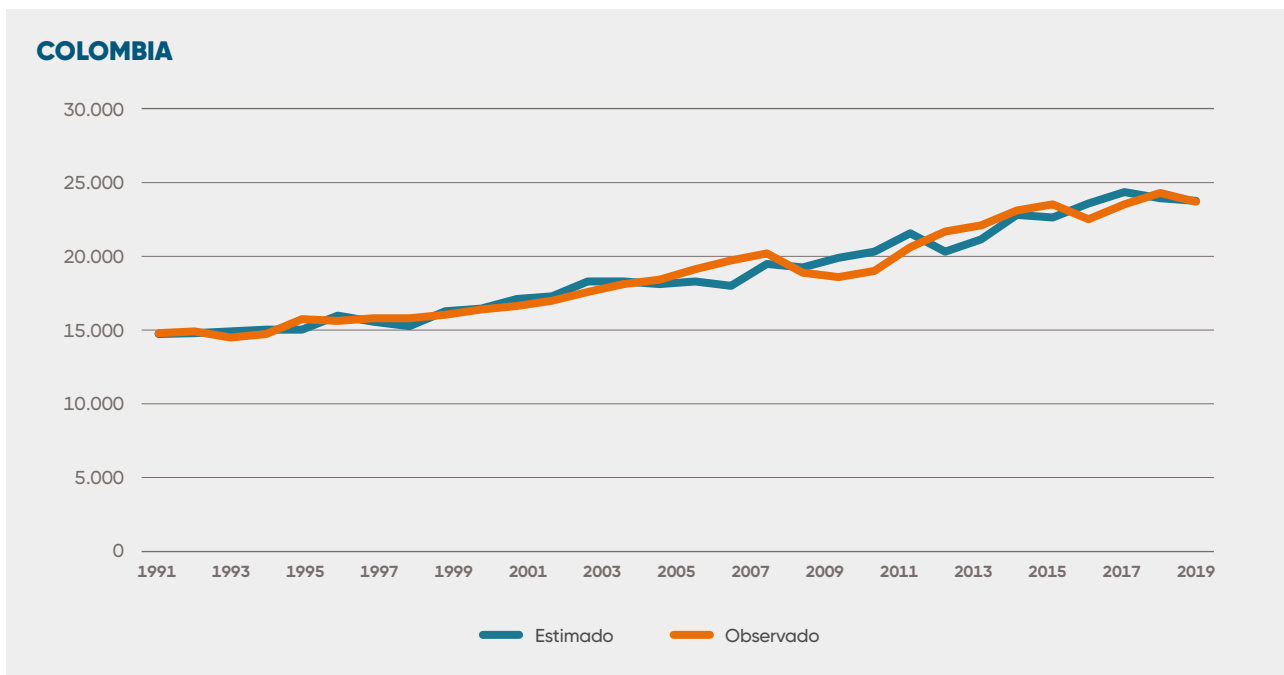
$$\begin{aligned}
 \text{C.9} \quad & \text{minimize } CE_i = \sum_n \sum_k \pi_{ik}^\beta \times \ln\left(\frac{\pi_{ik}^\beta}{P_{ink}^\beta}\right) + \sum_m \sum_k \pi_{itk}^\varepsilon \times \ln\left(\frac{\pi_{itk}^\varepsilon}{P_{itk}^\varepsilon}\right) + \sum_m \sum_k \pi_{imk}^\alpha \times \ln(\pi_{imk}^\alpha) \\
 y_{it} = & \sum_n \beta_{in} x_{int} + \alpha_{oi} + \alpha_i SRD_{it} + \sum_f \gamma_{if} W_{if} + \sum_h \tau_{ih} F_{ih} + \varepsilon_{it} \\
 \varepsilon_{it} = & \sum_k \pi_{ik}^\varepsilon z_{ikt}^\varepsilon - \sum_k P_{ik}^\varepsilon z_{ikt}^\varepsilon \\
 \beta_{in} = & \pi_{ink}^\beta z_{ink}^\beta + \epsilon_{ink}^\beta \\
 \epsilon_{ink}^\beta = & \sum_k \pi_{ink}^\beta z_{ink}^\beta - \sum_k P_{ink}^\beta z_{ink}^\beta \\
 & \sum_n \beta_{in} = 1 \\
 \alpha_{ik} = & \pi_{ik}^\alpha z_{ik}^\alpha + \epsilon_{ik}^\alpha \\
 \epsilon_{ik}^\alpha = & \sum_k \pi_{ik}^\alpha z_{ik}^\alpha - \sum_k P_{ik}^\alpha z_{ik}^\alpha \\
 & \sum_k \pi_{ik}^\alpha = 1
 \end{aligned}$$

Figura C.1. Valor bruto observado y estimado de la producción agropecuaria procedente de cultivos y ganado en USD millones, 2015

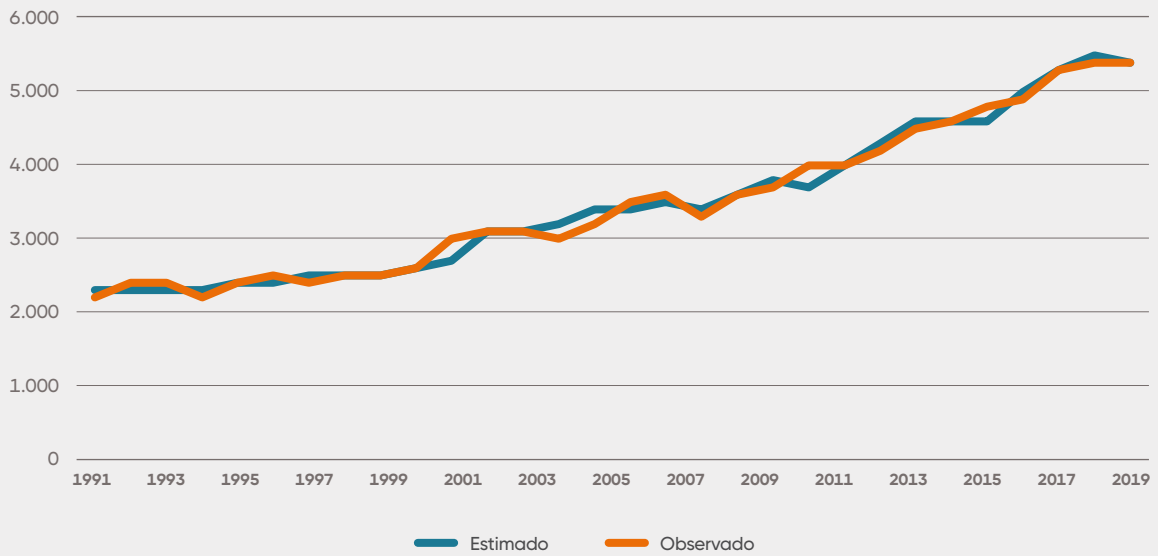




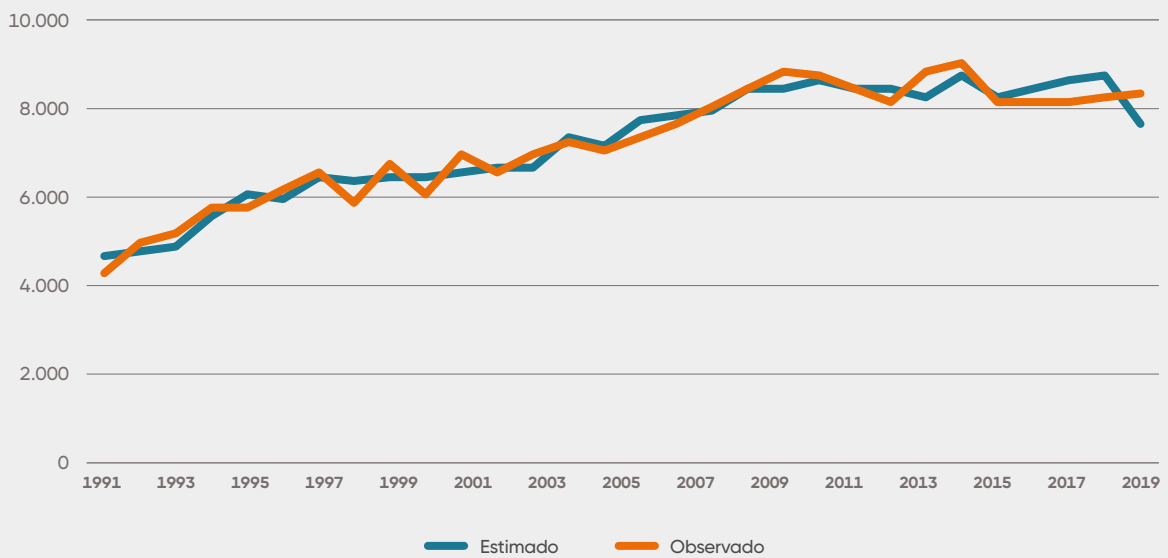


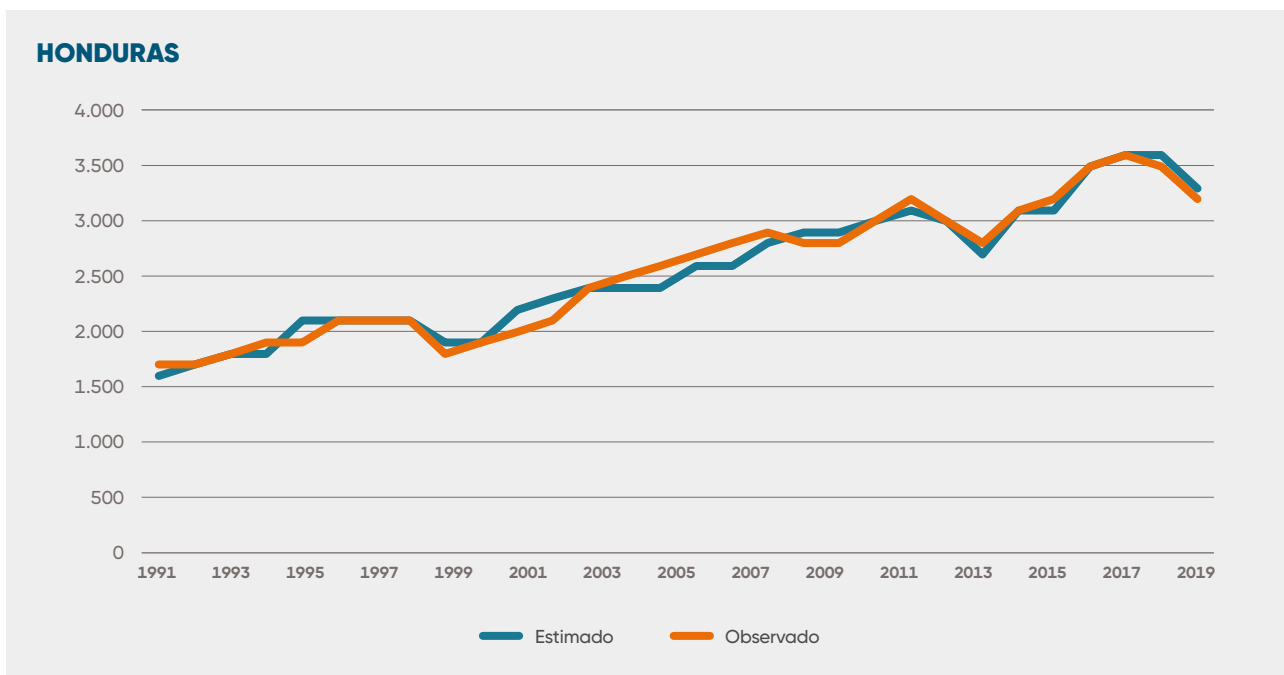
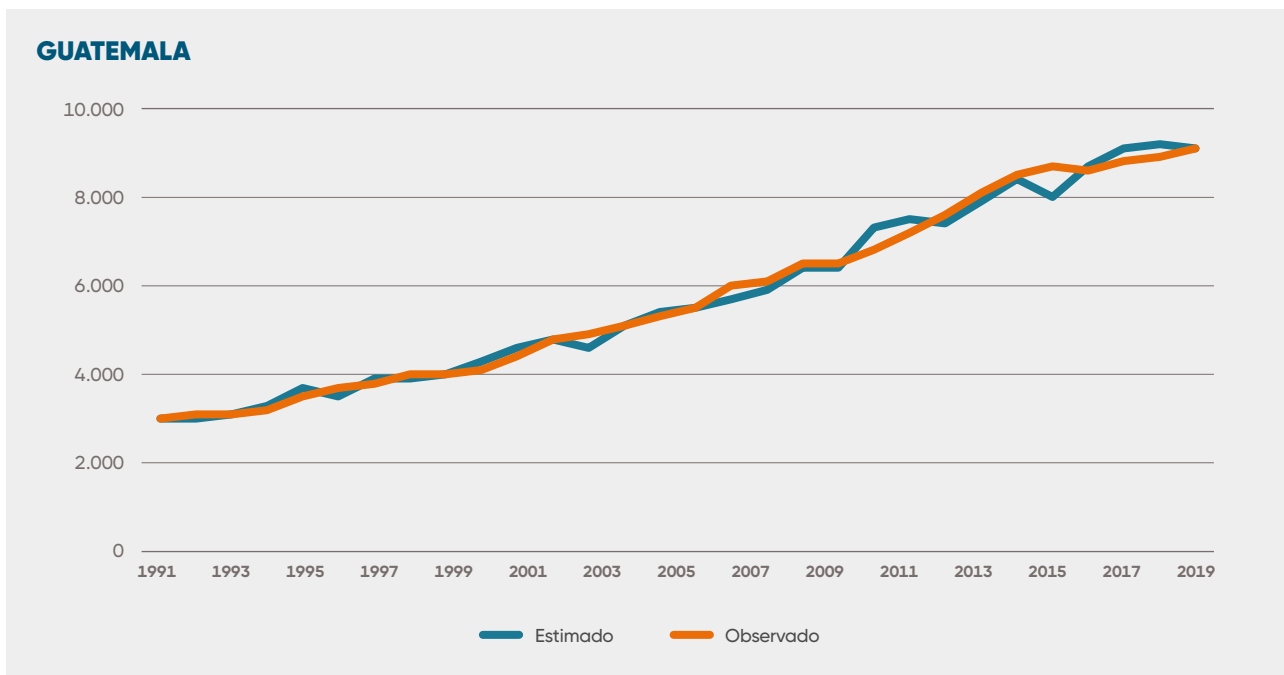


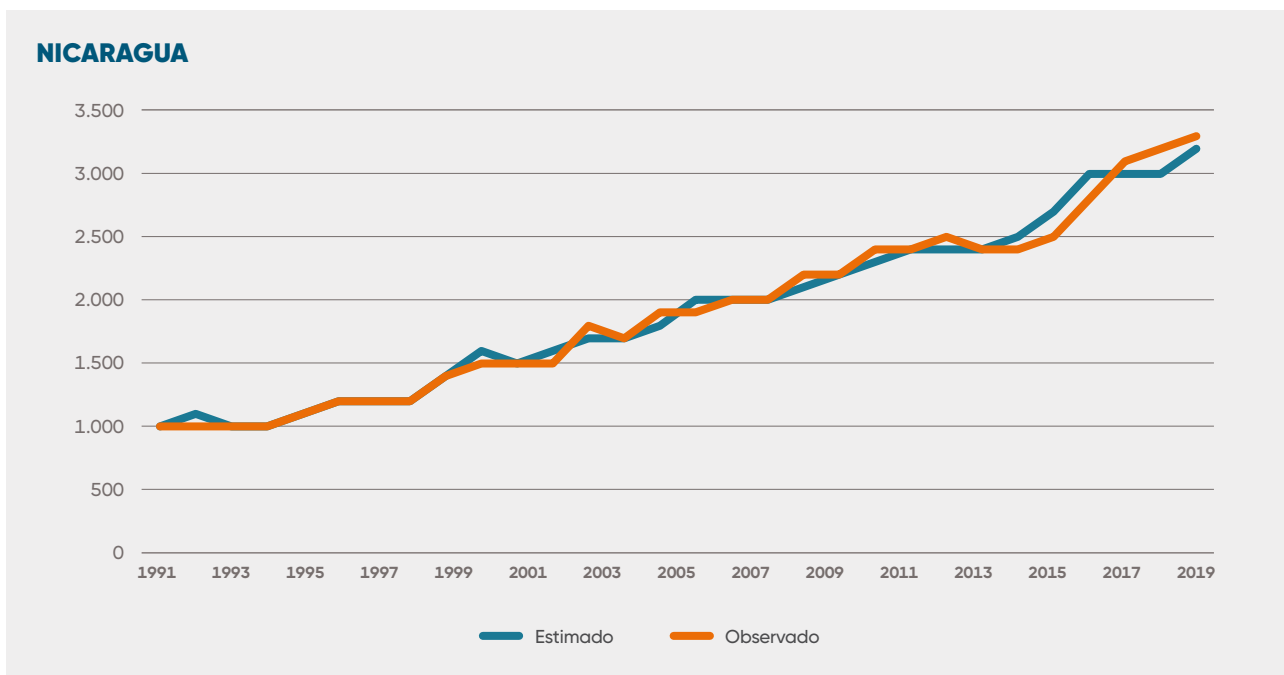
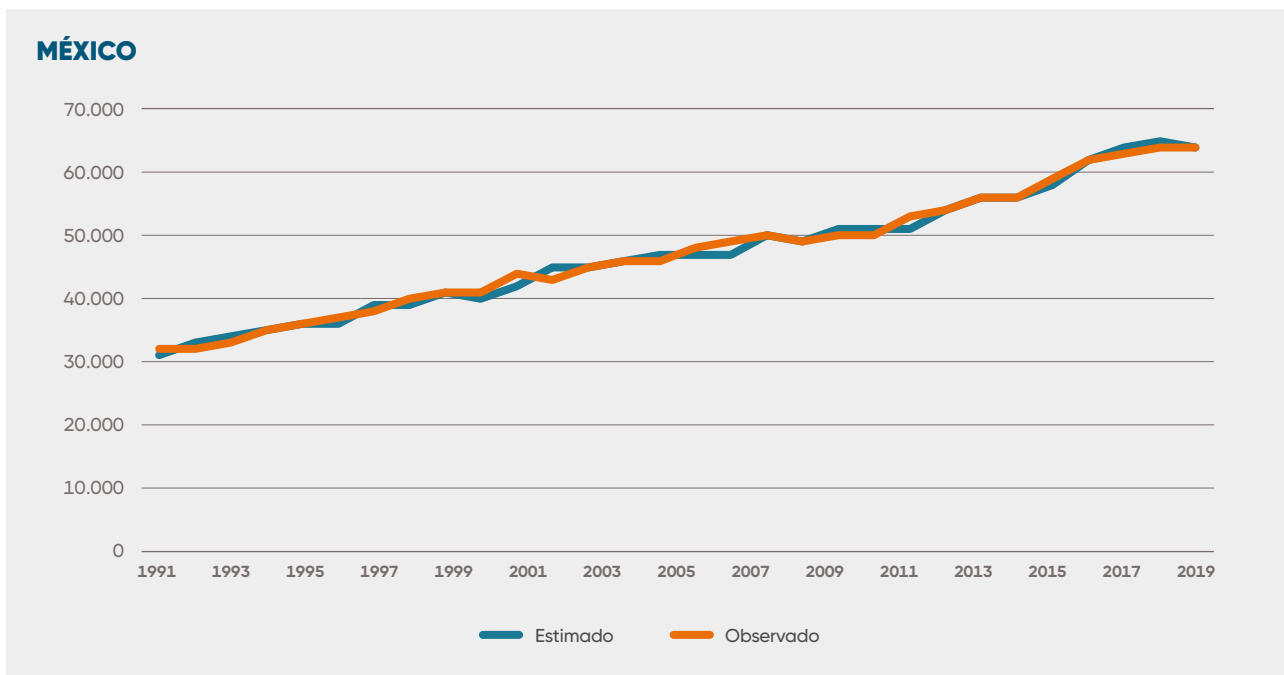
REPÚBLICA DOMINICANA

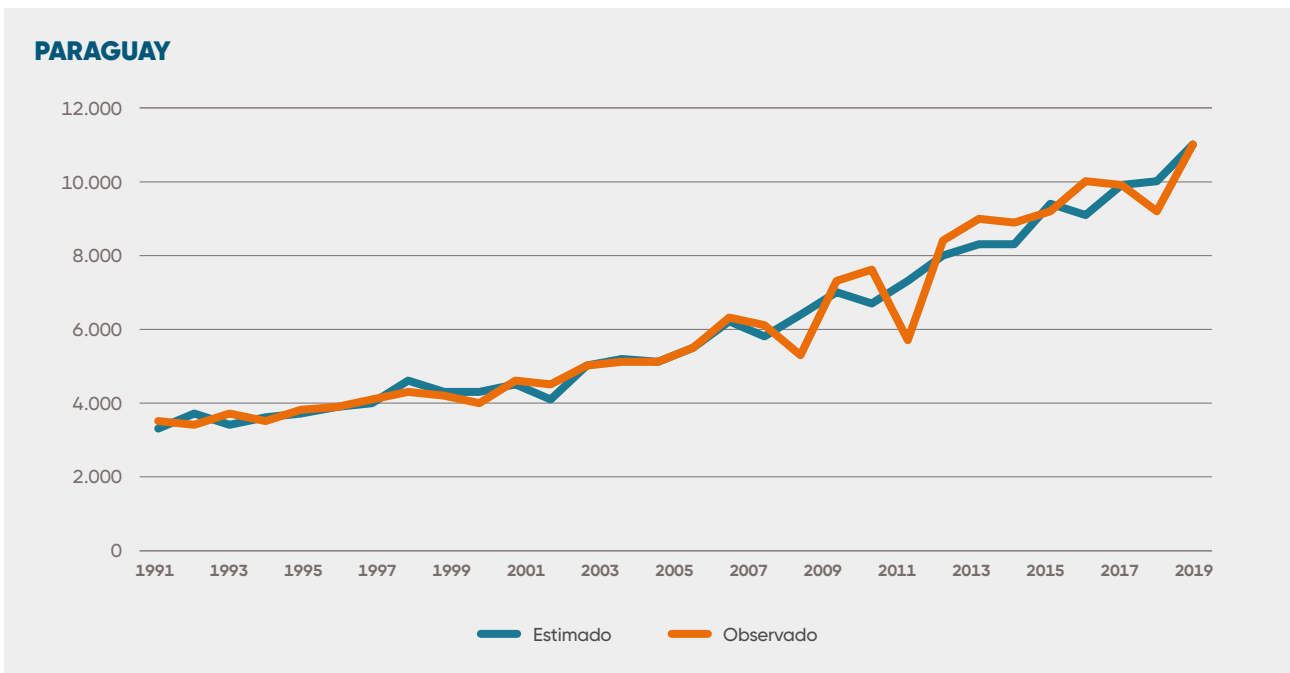
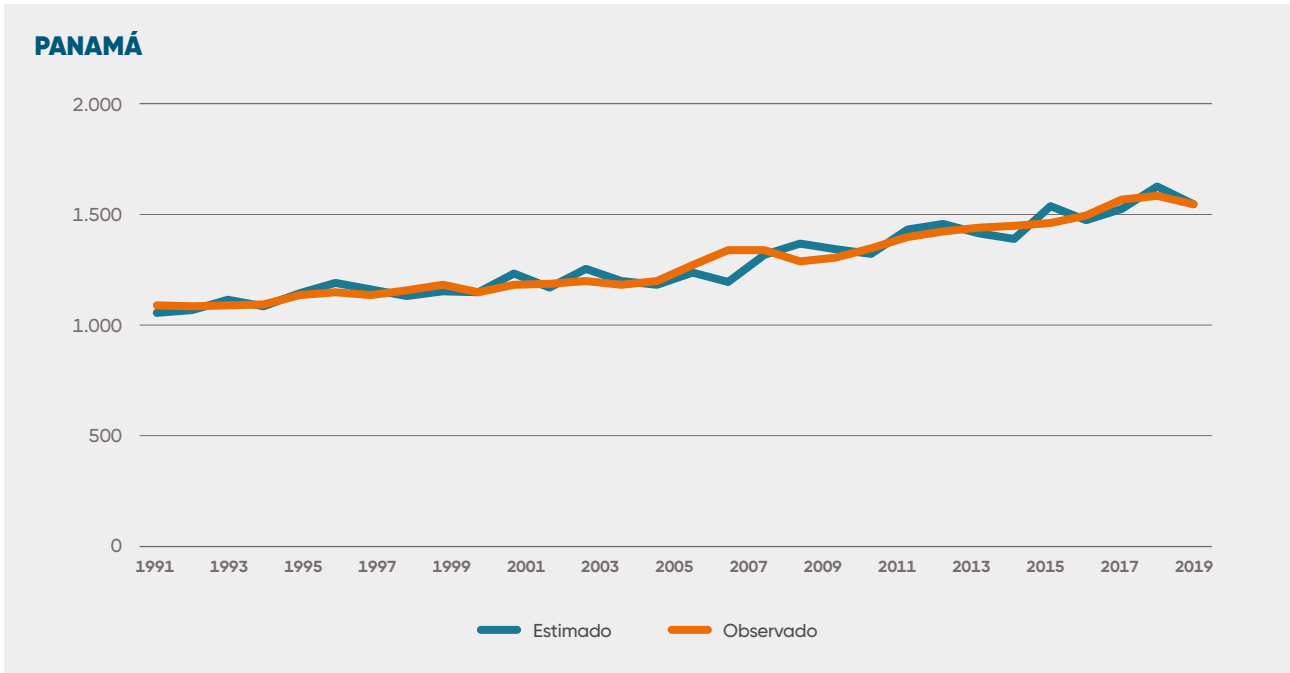


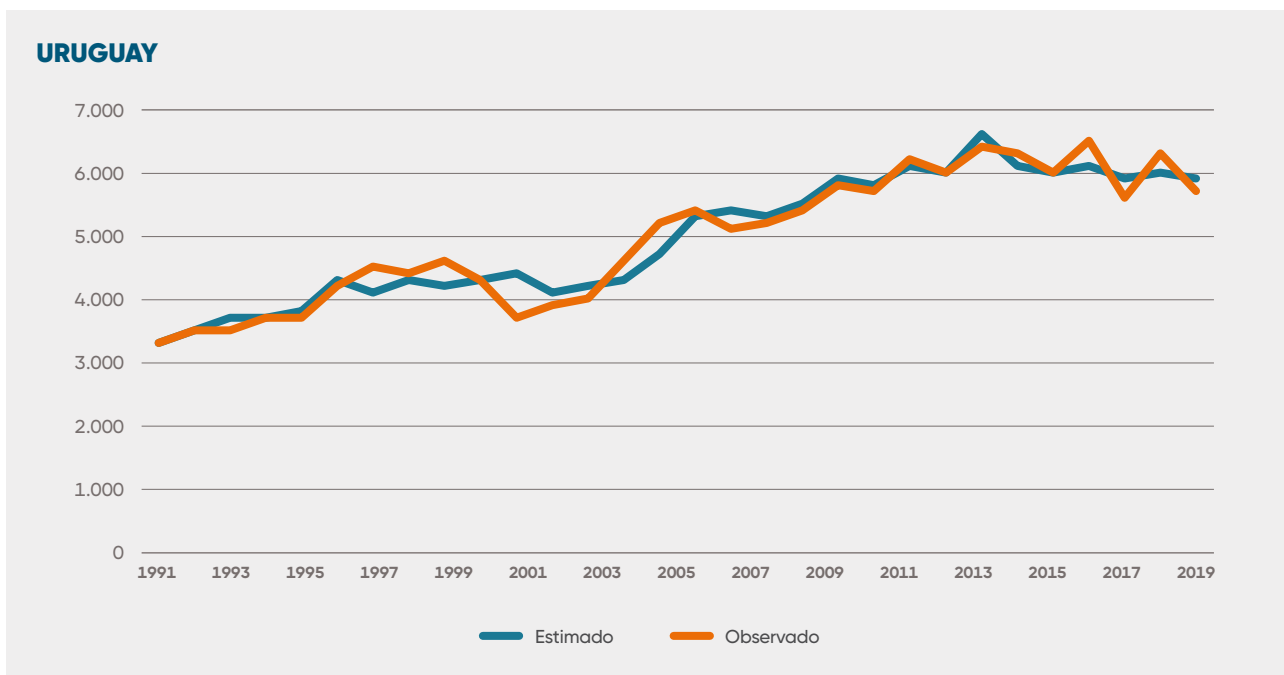
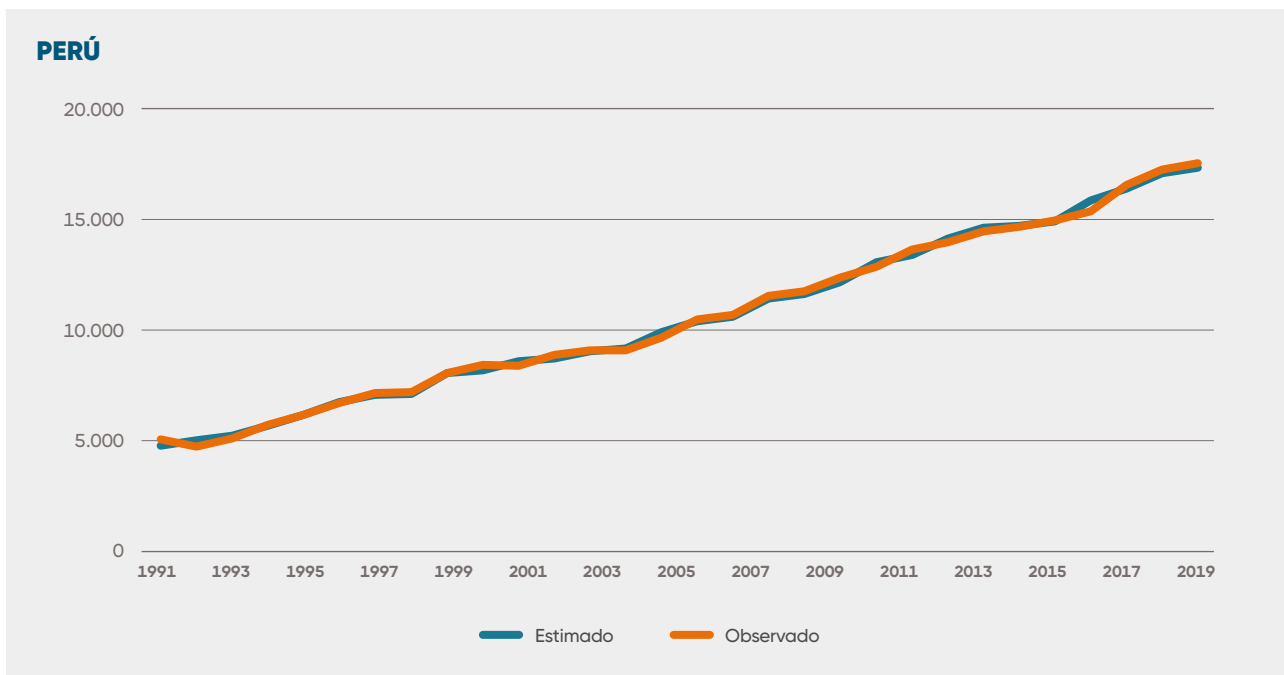
ECUADOR











Fuente: elaborado por los autores con base en USDA-ERS (2023) y ASTI (2022).

