

International competitiveness of soybean production: a comparative study of United States, Brazil and Argentina

Luis Javier Legarreta-Sosa¹

Francisco García-Fernández^{2*}

Martín Alfredo Legarreta-González^{3,4}

Abstract

Soybean is a fundamental support in the production and agricultural exports of the United States, Brazil and Argentina, consolidating its position as one of the main crops globally. The three countries have experienced a sustained increase in both production and exports of this crop, positioning them as leaders in international markets and strengthening their global competitive advantage. The analysis of competitiveness indicators reveals not only the comparative advantages in international soybean trade, but also the capacity of these countries to optimize their production processes and take advantage of scale, which reinforces their strategic position in global value chains. By applying the Lafay Index to data obtained from the U.S., Brazil and Argentina, we identify the comparative advantages which allow the three studied countries to be leading soybean exporters. The time series models estimated for the three countries were ARIMA (0, 1, 0), but with drift for Argentina. These models are known as "Random Walk". Therefore, in the case of the United States and Brazil, the projections would be the last calculated Index. These three countries lead the world soybean trade thanks to their specialization and competitive advantages with China as their main market, which makes this oilseed a key element of their agricultural export economies.

Keywords: Commercial advantage, comparative advantage, time series.

Competitividad internacional de la soya: un estudio comparativo de Estados Unidos, Brasil y Argentina

Resumen

La soya es un pilar fundamental en la producción y exportaciones agrícolas de Estados Unidos, Brasil y Argentina, consolidándose como uno de los principales cultivos a nivel global. Los tres países han experimentado un incremento sostenido tanto en la producción como en la exportación de este cultivo posicionándolos como líderes en los mercados internacionales y fortaleciendo su ventaja competitiva global. El análisis de indicadores de competitividad revela no solo las ventajas comparativas en el comercio internacional de soya, sino también, la capacidad de estos países para optimizar sus procesos productivos y aprovechar economías de escala, lo que refuerza su posición estratégica en las cadenas globales de valor. Mediante la aplicación del Índice de Lafay a los datos obtenidos de EE. UU., Brasil y Argentina, identificamos las ventajas comparativas que permiten, a los tres países estudiados, ser líderes exportadores de soya. Los modelos de serie de tiempo estimados para los tres países fueron, ARIMA (0, 1, 0), pero con "drift" para Argentina. Estos modelos son conocidos como "Random Walk". Por lo que, para el caso de Estados Unidos y Brasil, las proyecciones serían el último índice calculado. Estos tres países lideran el comercio mundial de soya gracias a su especialización y ventajas competitivas con China como su principal mercado, lo que convierte a esta oleaginosa en un elemento clave de sus economías agrícolas exportadoras.

Palabras clave: Ventaja comercial, ventaja comparativa, series de tiempo.

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, km 2.5 carretera Delicias-Rosales, Cd. Delicias, Chih. México.

²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ciencias y Administración, Centro Universitario s/n, Ciudad Victoria, Tamaulipas. México. C. P. 87000.

³Universidad Tecnológica de la Tarahumara, carretera Guachochi-Yoquivo, km 1.5, Guachochi, Chihuahua, México C. P. 33180.

⁴University of Makeni (UniMak), Postgraduate Department, Fatima Campus, Makeni City 00232, Sierra Leone.

*Corresponding author: ffernandez@docentes.uat.edu.mx Tel. 834 1263107, ORCID ID: 0000-0003-4340-1093

Introduction

The soybean market is one of the fastest growing in the world. It is an oilseed that has a wide variety of uses due to its high protein and oil content. On average, the dry grain contains 20 % of oil and 40 % of protein. The main by-products are oil for human consumption and flour for animal feeding, as a proteic element. In addition to being a legume with high nutritional value, soybean is also used as a raw material for biodiesel production (Dwevedi & Kayashta, 2011).

Brazil and the United States lead world soybean production and exports, being direct competitors in the global market and together controlling approximately 75 % of the total supply. Argentina is also a key player, although its share is significantly smaller compared to the other two economies. These countries are not only competing globally but are also fighting to grab as much share as possible from the world's largest soybean importer: China. This nation, which has experienced remarkable economic growth since the market reforms implemented in the late 1970s, has seen an increment in demand for food, boosting product imports such as soybeans, which are essential for both human consumption and animal feeding.

The objective of this research is to determine the behavior of soybean competitiveness in the three main world producers of this product, the United States, Brazil and Argentina, through the construction of the Lafay index using information from 1990 to 2020, to measure the comparative advantage of each country and, once obtained, to elaborate time series to determine its future behavior, at 10 years, per-country.

Soybean and the world's main competitors

China is the world's largest food importer. China's imports in 2023 were \$140 billion; 3.2 % more than the previous year. Of that total, \$72.7 billion originates from the BRICS countries (Brazil, Russia, India, China and South Africa), which contribute 31 %. The United States and Brazil contribute 12.1 % and 9.2 %, respectively (China International Import Expo, 2023).

Soybean is the main Latin American agricultural export product to the Chinese market. Of total Chinese agricultural imports from Latin America, 69.7% corresponds to soybeans of Brazilian and Argentine origin (IICA, 2022).

Introducción

El mercado de la soya es uno de los de mayor crecimiento en el mundo. Es una oleaginosa que tiene una gran variedad de usos por su elevado contenido en proteínas y aceites. Como promedio, el grano seco contiene 20 % de aceite y 40 % de proteína. Los principales subproductos son, aceite para el consumo humano y harina para el consumo animal, como elemento proteico de los alimentos balanceados. Además de ser una leguminosa con un gran valor nutritivo, la soya también es utilizada como materia prima para la producción de biodiesel (Dwevedi & Kayashta, 2011).

Brasil y Estados Unidos lideran la producción y exportación mundial de soya, siendo competidores directos en el mercado global y controlando, juntos, aproximadamente el 75 % de la oferta total. Argentina también es un jugador clave, aunque su participación es significativamente menor en comparación con las otras dos economías. Estos países no solo compiten globalmente, sino que también luchan por apropiarse de la mayor cuota posible del más grande importador de soya del mundo: China. Esta nación, que ha experimentado un crecimiento económico notable desde las reformas de mercado implementadas a finales de los años 70, ha visto un aumento en la demanda de alimentos, impulsando las importaciones de productos como la soya, la cual es esencial, tanto para el consumo humano como para la alimentación animal.

El objetivo de este trabajo es determinar el comportamiento de la competitividad de la soya en los tres principales productores mundiales de ese producto, Estados Unidos, Brasil y Argentina, a través de la construcción del índice de Lafay utilizando información de 1990 a 2020, para medir la ventaja comparativa de cada país y, una vez que se obtuvo, elaborar series de tiempo para determinar su comportamiento futuro, a 10 años, por país.

La soya y los principales competidores mundiales

China es el principal importador de alimentos del mundo. Las importaciones de China en el año 2023 fueron de 140 mil millones de dólares; 3.2 % más que el año anterior. De ese total, \$72.7 mil millones se originan en los países BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica), que aportan el 31 %. Estados Unidos y Brasil contribu-

In 2022, China imported soybeans for more than US\$63 billion. The growing demand for this oilseed in the Chinese domestic food market is due to the sustained economic growth, poverty reduction and an increase in the country's per capita Gross Domestic Product (GDP). Between 2000 and 2022, soybean imports increased by 635 % (2022).

The remarkable progress of the Chinese economy deeply transformed the consumption patterns of its population, who significantly increased their purchasing power. In 1960, China's GDP per capita was just \$238 (in 2010 dollars). By 1980, this value had risen to \$480, marking the beginning of an unprecedented economic acceleration, thanks to the reforms implemented by Deng Xiaoping. During that decade, the country experienced sustained economic growth, accompanied by a marked reduction in poverty and a substantial improvement in incomes, which eased wider access to food consumption. In 2020, China's GDP per capita reached \$10,370, representing a nearly 50-fold growth over 1960. No other country in the world has achieved an economic leap of such magnitude. Compared to 1990, GDP per capita showed an increase of more than 1,000 %. At the beginning of the 21st century, the Chinese government officially declared the eradication of extreme poverty and a significant reduction in overall poverty levels, which considerably boosted the consumption of food goods (World Bank, 2022).

Between 1990 and 2022, the worldwide area under soybean cultivation, increased by 80 million hectares (160% more than at the beginning of the 90's) and the volume of production multiplied by 2.9, giving an approximate total of 346.86 million tons. In 1990, the price of soybeans per ton was US\$357, and it was not until 1999 and 2000 that the price reached US\$183 per-ton. Since 2001, food prices increased again and the price of soybeans rose to 670 dollars in September 2012 (World Bank, 2018).

In 2019, the United States went on leading the world in the production and export of soybeans. This leadership was explained by several key factors. The Midwest regions of North America had exceptionally favorable climatic conditions, including abundant water availability and sunshine, which ensured high yields. This was compounded by economies of scale, achieved by farming large tracts of efficiently

yen con un 12.1 y un 9.2 %, respectivamente (China International Import Expo, 2023).

La soya es el principal producto de exportación agrícola latinoamericano al mercado chino. Del total de las importaciones agrícolas chinas desde América Latina, el 69.7 % corresponde a la soya de origen brasileña y argentina (IICA, 2022).

En el 2022, China importó soya por más de 63 mil millones de dólares. La creciente demanda de esta oleaginosa en el mercado interno de alimentos chinos se debe al crecimiento económico sostenido, a la reducción de la pobreza y al incremento del PIB per cápita del país. Entre 2000 y 2022, la importación de soya se incrementó en 635 % (2022).

El notable progreso de la economía china transformó profundamente los patrones de consumo de su población, quienes incrementaron de manera significativa su poder adquisitivo. En 1960, el PIB per cápita de China se situaba en apenas 238 dólares (en dólares de 2010). Para 1980, este valor había aumentado a 480 dólares, marcando el inicio de una aceleración económica sin precedentes, gracias a las reformas implementadas por Deng Xiaoping. Durante esa década, el país experimentó un crecimiento económico sostenido, acompañado de una notable reducción de la pobreza y una mejora sustancial en los ingresos, lo que facilitó un acceso más amplio al consumo de alimentos. En 2020, el PIB per cápita de China alcanzó los 10 370 dólares, representando un crecimiento de casi 50 veces respecto a 1960. Ningún otro país en el mundo ha logrado un salto económico de tal magnitud. Comparado con 1990, el PIB per cápita mostró un incremento superior al 1 000 %. A comienzos del siglo XXI, el gobierno chino declaró oficialmente la erradicación de la pobreza extrema y una reducción significativa de los niveles generales de pobreza, lo que impulsó de manera considerable el consumo de bienes alimenticios (Banco Mundial, 2022).

Entre los años de 1990 y 2022, la superficie cultivada destinada a la soya, a nivel mundial, se incrementó en 80 millones de hectáreas (un 160 % más de la superficie destinada a inicios de los 90) y, el volumen de producción se multiplicó por 2.9 dando un total aproximado de 346.86 millones de toneladas. En el año 1990, el precio de la soya por tonelada, era de 357 dólares y fue, hasta los años 1999 y 2000, que el precio llegó a 183 dólares por tonelada. A partir del año 2001,

and profitably cultivated land. The United States also stood out for its use of advanced technologies, such as genetically improved seeds, specialized fertilizers to protect crops, and highly professionalized farm management capabilities, which ensured efficient harvests. In addition, the country's infrastructure and logistics were highly developed, with a modern transportation system that facilitated access to ports and global markets through an integrated network of highways and railroads.

Another key factor was the constant linkage between the agricultural sector and research centers and universities, which fostered innovation and knowledge transfer, enabling the adaptation of seeds and best practices to local climatic conditions. Finally, government support played a crucial role in the success of the sector, through subsidy programs and agricultural policies aimed at guaranteeing stable prices. These measures included direct payments to farm growers, providing a framework of economic security that incentivized production and protected the sector against market fluctuations (USDA, 2020).

The American Soybean Association (ASA) has played a crucial role in protecting the economic interests of U.S. soybean farm growers, manufacturers and marketers. Its work as a lobbying group has focused on influencing public policy, such as the Farm Bill, securing subsidies and government support, as well as promoting trade agreements that favor soybean exports to key markets. In addition, it has promoted research to improve productivity and sustainability and the expansion of markets through new uses such as biodiesel. The ASA has been a key element in positioning U.S. soybeans as global leader in value chains (Ablin & Paz, 2004; García Fernández, et al., 2018)

Brazil is one of the countries which has constantly increased its production level and cultivated area. In the OECD and FAO Agricultural Outlook 2017-2026 report, Brazil was already predicted to surpass the EU (OECD/FAO, 2017). In 2022 Brazil surpassed the US in production volume by almost four million tons difference and in cultivated area by almost six million hectares (FAO, 2022). The cultivated area in South America has steadily grown since the beginning of the current century. Brazil, Argentina, Bolivia, Paraguay and Uruguay have steadily increased the

los precios de los alimentos se incrementaron nuevamente y el precio de la soya escaló a 670 dólares, en septiembre del 2012 (World Bank, 2018).

En 2019, Estados Unidos continuaba liderando a nivel mundial en la producción y exportación de soya en grano. Este liderazgo se explicaba por diversos factores clave. Las regiones del medio oeste norteamericano contaban con condiciones climáticas excepcionalmente favorables, incluyendo abundante disponibilidad de agua y sol, que aseguraban altos rendimientos. A esto se sumaban las economías de escala, logradas gracias a la explotación de grandes extensiones de tierra cultivada de manera eficiente y rentable. Estados Unidos también destacaba por el uso de tecnologías avanzadas, como semillas genéticamente mejoradas, fertilizantes especializados para proteger los cultivos y una capacidad de gestión agrícola altamente profesionalizada, lo que garantizaba cosechas eficientes. Además, la infraestructura y la logística del país estaban altamente desarrolladas, con un sistema de transporte moderno que facilitaba el acceso a puertos y mercados globales a través de una red integrada de carreteras y ferrocarriles.

Otro factor fundamental era la vinculación constante entre el sector agrícola y los centros de investigación y universidades, que fomentaban la innovación y la transferencia de conocimientos, permitiendo la adaptación de semillas y mejores prácticas a las condiciones climáticas locales. Finalmente, el apoyo gubernamental desempeñó un papel crucial en el éxito del sector, a través de programas de subsidios y políticas agrícolas orientadas a garantizar precios estables. Estas medidas incluían pagos directos a los productores, proporcionando un marco de seguridad económica que incentivaba la producción y protegía al sector frente a las fluctuaciones del mercado (USDA, 2020).

La Asociación Americana de Soya (ASA) ha desempeñado un papel crucial en la protección de los intereses económicos de los productores, industriales y comercializadores de soya en Estados Unidos. Su labor como grupo de presión se ha centrado en influir en políticas públicas, como la Farm Bill, asegurando subsidios y apoyo gubernamental, así como en promover acuerdos comerciales que favorezcan las exportaciones de soya a mercados clave. Además, ha impulsado la investigación para mejorar la productividad y sostenibilidad y la expansión de mer-

area under soybean cultivation. In 2022 they jointly reported almost 63 million hectares (FAO, 2022), a 160 % increase compared to the area in 2000.

The growth of soybean production in Brazil should not only be demonstrated by the increase in the cultivated area. Although it is probably a determining factor, due to the sustained increase in the under-soybean production areas in the country (200 % compared to 2000). Between 2000 and 2019, in the Cerrado region, exploitable agricultural land increased by 120 %, threatening environmental balances and the availability of water resources (Infobae, 2024). Other factors include good yields per hectare, incentive policies for high yield crops, improved agricultural practices and soybean exports, and the promotion of research and experimentation in agricultural researching centers and universities. Public spending was decisive in promoting innovation, such as the creation of the public company Brazilian Agricultural Research Corporation (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBARPA for its acronym in Spanish), dedicated, among other functions, to the development of new varieties and biotechnological and genetic improvement research. It also promoted the construction of infrastructure for logistical development and market access. No less important was the creation of the National Bank for Economic and Social Development (BNDES for its acronym in Spanish), which has provided financing to ease modern technology access (Mesquita, F. C., & Lemos Alves, 2013).

Argentina has consolidated as one of the main soybean producers and exporters in Latin America and in the world, ranking third in international markets (FAO, 2022). This position is largely due to its ability to take advantage of the benefits of the Humid Pampas region, where the combination of fertile land, modern infrastructure and technological advances in agriculture have allowed the development of a competitive agroexport industry. In addition to exporting soybeans in their natural condition, the country processes a significant part of its production into by products such as oil and meal, which adds value and expands its presence in global supply chains. Although it faces significant challenges, such as domestic economic fluctuations and global trade challenges, Argentina remains a benchmark in the sec-

cados a través de nuevos usos como el biodiésel. La ASA ha sido clave para posicionar a la soya estadounidense como un líder en las cadenas globales de valor (Ablin & Paz, 2004; García Fernández, et al., 2018).

Brasil es uno de los países que ha incrementado constantemente su nivel de producción y su área cultivada. En el informe Perspectivas Agrícolas 2017-2026 de la OCDE y la FAO, ya se pronosticaba que Brasil superaría a los EU (OCDE/FAO, 2017). En 2022 Brasil superaba a los EU en volumen de producción, en casi cuatro millones de toneladas de diferencia y en área cultivada por casi seis millones de hectáreas (FAO, 2022). En relación con el área cultivada en América del Sur, ésta ha crecido sostenidamente desde inicios del siglo actual. Brasil, Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay, han incrementado sostenidamente la extensión de las áreas dedicadas al cultivo de la soya. En 2022 reportaban conjuntamente casi 63 millones de hectáreas (FAO, 2022), un 160 % de incremento comparado con el área del año 2000.

El crecimiento de la producción de soya en Brasil no solo debe ser demostrado por el aumento del área cultivada. Aunque probablemente sea un factor determinante, debido al incremento sostenido de las áreas dedicadas a la producción de soya en el país (200 % en comparación con el 2000). Entre 2000 y 2019, en la región de Cerrado, las tierras agrícolas explotables aumentaron en un 120 %, atentando contra los equilibrios medioambientales y la disponibilidad de recursos hídricos (Infobae, 2024). Otros factores son: los buenos rendimientos por hectárea, las políticas de incentivos a cultivos de alto rendimiento, a la mejora de prácticas agrícolas y exportación de soya, el fomento a la investigación y experimentación en centros de investigación agrícola y en universidades. El gasto público fue decisivo para promover la innovación, como la creación de la empresa pública EMBRAPA (Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria), dedicada entre otras funciones, a desarrollar nuevas variedades y a la investigación biotecnológica y de mejoramiento genético. También promovió la construcción de infraestructuras para el desarrollo logístico y el acceso a los mercados. No menos importante fue la creación del Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES), que ha proporcionado financiamiento para facilitar el acceso a tecnologías modernas (Mesquita, F. C., & Lemos Alves, 2013).

tor thanks to the resilience and innovation capacity of its agricultural growers (Trigo, 2011; Burgos, 2023).

Since the 1990s, China has emerged as the world's leading soybean importer, and this trend is no coincidence. Sustained population growth, along with a significant increase in the consumption of meat and dairy products, has driven increased demand for animal balanced feed, with soybeans playing a central role. In addition, Chinese government policies focused on ensuring food safety have accelerated this transformation, making soybeans a strategic product. In this context, countries such as Brazil and the United States have become China's main soybean suppliers, reshaping international agricultural trade flows. This phenomenon not only reflects the importance of China in the global market, but also the impact of its growing demand on exporting economies (FAO, 2022; USDA, 2022).

On the other hand, other important agents in soybean imports, such as the European Union and Mexico, present specific dynamics that contrast with the Chinese case. The European Union, for example, uses soybeans mainly as an input for animal feed, especially in sectors such as poultry and pig farming. However, its dependence on imported soybeans is largely due to restrictions on the cultivation of genetically modified organisms within its territory. In Mexico, the situation is different: although the country has an expanding domestic market, its soybean production is very limited. This has led to a significant dependence on imports, especially from the United States and South American countries, which represents a challenge for its food sovereignty. Despite these particularities, neither the European Union nor Mexico have reached the magnitude or speed of growth in demand shown by the Chinese market, which goes on transforming global agricultural supply chains (OECD/FAO, 2017).

Methods

In order to study the comparative advantage and determine the soybean farm growers' competitiveness (United States, Brazil and Argentina) to the Chinese market, this research was carried out with a quantitative approach and descriptive scope.

The Lafay International Specialization (IL^k) indicator was constructed (Durán Lima & Álvarez, 2011). To

Argentina se ha consolidado como uno de los principales productores y exportadores de soya de América Latina y del mundo, tercer lugar en los mercados internacionales (FAO, 2022). Esta posición se debe, en gran medida, a su capacidad para aprovechar las ventajas de la región de la Pampa Húmeda, donde la combinación de tierras fértiles, infraestructura moderna y avances tecnológicos en la agricultura ha permitido desarrollar una industria agroexportadora competitiva. Además de exportar la soya en estado natural, el país procesa una parte importante de su producción en derivados como aceite y harina, lo que le agrega valor y amplía su presencia en cadenas globales de suministro. Aunque enfrenta retos significativos, como las fluctuaciones económicas internas y los desafíos del comercio mundial, Argentina sigue siendo un referente en el sector gracias a la resiliencia y la capacidad de innovación de sus productores agrícolas (Trigo, 2011; Burgos, 2023).

Desde la década de 1990, China ha emergido como el principal importador de soya en el mundo, y esta tendencia no es casual. El crecimiento sostenido de su población, junto con un aumento significativo en el consumo de carne y productos derivados, ha impulsado una mayor demanda de alimentos balanceados para animales, donde la soya juega un papel central. Además, las políticas del gobierno chino enfocadas en garantizar la seguridad alimentaria han acelerado esta transformación, convirtiendo a la soya en un producto estratégico. En este contexto, países como Brasil y Estados Unidos se han consolidado como los principales proveedores de soya para China, reconfigurando los flujos del comercio agrícola internacional. Este fenómeno no solo refleja la importancia de China en el mercado global, sino también el impacto de su creciente demanda sobre las economías exportadoras (FAO, 2022; USDA, 2022).

Por otro lado, otros actores importantes en la importación de soya, como la Unión Europea y México, presentan dinámicas particulares que contrastan con el caso chino. La Unión Europea, por ejemplo, utiliza la soya principalmente como insumo para la alimentación animal, especialmente en sectores como la avicultura y la porcicultura. Sin embargo, su dependencia de la soya importada responde, en gran medida, a las restricciones existentes en el cultivo de organismos genéticamente modificados dentro de su territorio. En

obtain this indicator, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and its FAO database (2022) were used as a source of information

The variables used for the calculation of the Lafay International Specialization Indicator were Production (of the studied countries), imports and exports, all of soybeans (grain). For the time series, the Lafay Index and the years (1990 to 2020) were used.

Lafay International Specialization Indicator (IL^k)

The Lafay International Specialization Indicator is an index that measures the degree to which a country has a comparative advantage, in relation to the analyzed item, which allows it to be a natural exporter of that good (Durán Lima & Alvarez, 2011). The formula for its calculation is as follows:

$$IL^k = \frac{Pd}{Pd + M - X}$$

Where:

IL^k = Lafay International Specialization Indicator.

Pd = It is the production of a good.

M = Imports of that good.

X = Exports of the above mentioned good.

This indicator shows the relationship between national production and apparent consumption of the good in question (national production plus imports minus exports). In the evaluation of this indicator, two results are considered: if IL > 1, the country is a net exporter of the studied good; If IL < 1, the country cannot be classified as a net exporter of the good. The higher the level of the index, the more important exports are as a proportion of national production, consequently, the specialization is stronger as well as the comparative advantage of the country in that product (Durán Lima & Álvarez, 2011).

Time Series

The following theoretical support of the time series methodology is based on the work of Hyndman & Athanasopoulos (2021).

In general terms, a time series can be considered a collection of observations made sequentially over time. In fact, a time series is a special kind of stochastic process. Our interest will not focus on deterministic series, but on those whose values behave accor-

México, la situación es distinta: aunque el país cuenta con un mercado interno en expansión, su producción de soya es muy limitada. Esto ha llevado a una dependencia importante de las importaciones, sobre todo desde Estados Unidos y países sudamericanos, lo que representa un desafío para su soberanía alimentaria. A pesar de estas particularidades, ni la Unión Europea ni México han alcanzado la magnitud ni la velocidad de crecimiento en la demanda que ha mostrado el mercado chino, que continúa transformando las cadenas globales de suministro agrícola (OECD/FAO, 2017).

Métodos

Con el propósito de estudiar la ventaja comparativa y determinar la competitividad de las exportaciones de los productores de soya (Estados Unidos, Brasil y Argentina) hacia el mercado chino, se efectuó esta investigación de enfoque cuantitativo y de alcance descriptivo.

Se construyó el indicador de Especialización Internacional de Lafay (IL^k) (Durán Lima & Álvarez, 2011). Para obtener este indicador, se utilizó, como fuente de información, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), y su base de datos FAO (2022).

Las variables utilizadas para el cálculo del Indicador de Especialización Internacional de Lafay fueron: Producción (de los países estudiados), importaciones y exportaciones, todo de soya (grano). Para las series de tiempo se utilizó el Índice de Lafay y los años (1990 a 2020).

Indicador de Especialización Internacional de Lafay (IL^k)

El Indicador de Especialización Internacional de Lafay, es un índice que mide el grado en el que un país posee una ventaja comparativa, referente al rubro analizado, que le permite ser exportador natural de dicho bien (Durán Lima & Alvarez, 2011). La fórmula para llevar a cabo su cálculo es:

$$IL^k = \frac{Pd}{Pd + M - X}$$

Dónde:

IL^k = Indicador de Especialización Internacional de Lafay.

Pd = Es la producción de un bien.

M = Importaciones de dicho bien.

X = Exportaciones de dicho bien.

ding to probability laws. In this study they were used to make a ten-year forecast of the indices.

Definition 1.1 A stochastic process $X(t); t \in T$ is a random variable collection, where T is a set of indices for which all random variables, $X(t, t \in T)$, are defined in the same sample space. When T represents time, we refer to the stochastic process as a *time series*.

If T takes a continuous range of values (e.g., $T = (-\infty, \infty)$ or $T = (0, \infty)$), the process is said to be a *continuous parameter process*. If, on the other hand, T takes a discrete set of values (e.g., $T = 0, 1, 2, \dots$, $T = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), the process is said to be a *discrete parameter process*. Actually, it is typical to refer to them as continuous and discrete processes, respectively.

We will use the subscript notation, X_t , when dealing specifically with a discrete parameter process. However, when the process in question is of continuous parameters or of unspecified type, we will use the function notation, $X(t)$. Likewise, when there is no confusion, we will often use the notation $\{X(t)\}$ or just $X(t)$ to denote a time series. Similarly, we often shorten or just X_t .

Remember that a random variable, Y , is a function defined on a sample space Ω whose range is the real numbers. An observed value of the random variable Y is a real number for some $\omega \in \Omega$. For a time series $\{X(t)\}$, its "value", for some fixed $\omega \in \Omega$, is a collection of real numbers. This leads us to the following definition.

Definition 1.2 A time series *realization* is the set of real-valued results, $X(t, \omega); t \in T$ for a fixed value of $\omega \in \Omega$.

That is, a realization of a time series is simply a set of values of $\{X(t)\}$, resulting from the occurrence of some observed event. A realization of time series $X(t); t \in T$ will be denoted $\{x(t); t \in T\}$. As before, we will sometimes use the notation $\{X(t)\}$, or just $x(t)$ in the case of continuous parameters and $\{x_t\}$ or x_t in the case of discrete parameters when these are clear. The collection of all possible realizations is called the *set*, and, for a given t , the expectation random variable $X(t)$, is called the mean of the set and will be denoted $E[X(t)] = \mu(t)$. The variance of $X(t)$ is given by $Var[X(t)] = E\{[X(t) - \mu(t)]^2\}$ and is usually denoted by $\sigma^2(t)$, since it may also depend on t .

Este indicador muestra la relación entre la producción nacional y el consumo aparente del producto en cuestión (producción nacional más importaciones menos exportaciones). En la evaluación de este indicador se consideran dos resultados: si $IL > 1$, el país es un exportador neto del bien estudiado; si $IL < 1$, el país no puede ser catalogado como exportador neto del bien. A mayor nivel del índice, más importantes son las exportaciones como proporción de la producción nacional, por consiguiente, más fuerte es la especialización y la ventaja comparativa del país en ese producto (Durán Lima & Álvarez, 2011).

Serie de tiempo

El siguiente sustento teórico de la metodología para series de tiempo, está basado en el trabajo de Hyndman & Athanasopoulos (2021).

En términos generales, una serie temporal puede considerarse una colección de observaciones realizadas de forma secuencial en el tiempo. En realidad, una serie temporal es un tipo especial de proceso estocástico. Nuestro interés no se centrará en las series deterministas, sino en aquellas cuyos valores se comportan según las leyes de la probabilidad. En este estudio fueron utilizadas para hacer un pronóstico de los índices a diez años.

Definición 1.1 Un proceso estocástico $X(t); t \in T$ es una colección de variables aleatorias, donde T es un conjunto de índices para el que todas las variables aleatorias, $X(t, t \in T)$, están definidas en el mismo espacio muestral. Cuando T representa el tiempo, nos referimos al proceso estocástico como una *serie temporal*.

Si T toma un rango continuo de valores (por ejemplo, $T = (-\infty, \infty)$ o $T = (0, \infty)$), se dice que el proceso es un proceso de *parámetros continuos*. Si, por el contrario, T toma un conjunto discreto de valores (por ejemplo, $T = 0, 1, 2, \dots$ o $T = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), se dice que el proceso es un proceso de *parámetros discretos*. En realidad, es típico referirse a ellos como procesos continuos y discretos, respectivamente.

Utilizaremos la notación de subíndice, X_t , cuando tratemos específicamente con un proceso de parámetros discretos. Sin embargo, cuando el proceso en cuestión sea de parámetros continuos o de tipo no especificado, utilizaremos la notación de función, $X(t)$. Asimismo, cuando no se produzca ninguna confusión,

Definition 1.3 If $\{X(t); t \in T\}$ is a time series, then for any $t_1, t_2 \in T$, we define

1. The autocovariance function, $\gamma(\bullet)$, by

$$\gamma(t_1, t_2) = E\{[X(t_1) - \mu(t_1)][X(t_2) - \mu(t_2)]\}$$

2. The autocorrelation function, $\rho(\bullet)$, by

$$\rho(t_1, t_2) = \frac{\gamma(t_1, t_2)}{\sigma(t_1)\sigma(t_2)}$$

Stationary time series

In a time series study, it is usual that only a single realization of the series is available. Analyzing a time series from a single realization is analogous to analyzing the properties of a random variable from a single observation. The concepts of stationarity and ergodicity will play an important role in improving our ability to analyze a time series on the basis of a single realization efficiently. A process is said to be stationary if it is in a state of "statistical equilibrium". The basic behavior of such a time series does not change over time. As an example, for such a process, $\mu(t)$ would not depend on time and could therefore be denoted μ for all t . It seems that, since $x(t)$ for each $t \in T$ provides information about the ensemble mean, μ , it may be possible to estimate μ from a single realization. An ergodic process is one for which the set means, such as μ , can be consistently estimated from a single realization.

The most restrictive notion of stationarity is that of strict stationarity, which we define as follows.

Definition 1.4 A process $\{X(t); t \in T\}$ is said to be strictly stationary if for any $t_1, t_2, \dots, t_k \in T$ and any $h \in T$, the joint distribution of $\{X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_k)\}$ is identical to that of $\{X(t_1 + h), X(t_2 + h), \dots, X(t_k + h)\}$.

NOTE: We have tactically assumed that T is closed under addition.

Strict stationarity requires, among other issues, that for $t_1, t_2 \in T$, the distributions of $X(t_1)$ y $X(t_2)$ are equal, and further that all bivariate distributions of the pairs $\{X(t), X(t + h)\}$ are equal for all h , etc. The requirement of strict stationarity is severe and often difficult to

a menudo utilizaremos la notación $\{X(t)\}$ o simplemente $X(t)$ para denotar una serie temporal. Del mismo modo, solemos acortar o simplemente a X_t .

Recordemos que una variable aleatoria, Y , es una función definida en un espacio muestral Ω cuyo rango son los números reales. Un valor observado de la variable aleatoria Y es un número real para algún $\omega \in \Omega$. Para una serie temporal $\{X(t)\}$, su "valor", para algún $\omega \in \Omega$ fijo, es una colección de números reales. Esto nos lleva a la siguiente definición.

Definición 1.2 Una *realización* de la serie temporal es el conjunto de resultados de valor real, $X(t, \omega); t \in T$ para un valor fijo de $\omega \in \Omega$.

Es decir, una realización de una serie temporal es simplemente un conjunto de valores de $\{X(t)\}$, que resultan de la ocurrencia de algún evento observado. Una realización de la serie temporal $X(t); t \in T$ se denotará $\{x(t); t \in T\}$. Como antes, a veces utilizaremos la notación $\{X(t)\}$, o simplemente $x(t)$ en el caso de parámetros continuos y $\{x_i\}$ o x_i en el caso de parámetros discretos cuando estos sean claros. La colección de todas las realizaciones posibles se llama *conjunto*, y, para un t dado, la expectativa de la variable aleatoria $X(t)$, se denomina media del conjunto y se denotará $E[X(t)] = \mu(t)$. La varianza de $X(t)$ viene dada por $Var[X(t)] = E\{[X(t) - \mu(t)]^2\}$ y se suele denotar por $\sigma^2(t)$, ya que también puede depender de t .

Definición 1.3 Si $\{X(t); t \in T\}$ es una serie temporal, entonces para cualquier $t_1, t_2 \in T$, definimos

1. La función de autocovarianza, $\gamma(\bullet)$, por

$$\gamma(t_1, t_2) = E\{[X(t_1) - \mu(t_1)][X(t_2) - \mu(t_2)]\}$$

2. La función de autocorrelación, $\rho(\bullet)$, por

$$\rho(t_1, t_2) = \frac{\gamma(t_1, t_2)}{\sigma(t_1)\sigma(t_2)}$$

Series temporales estacionarias

En el estudio de una serie temporal, es habitual que solo se disponga de una única realización de la serie. El análisis de una serie temporal a partir de una sola realización es análogo al análisis de las propiedades de una variable aleatoria a partir de una sola observación. Los conceptos de estacionariedad y ergodicidad desempe-

establish mathematically. In fact, for most applications, the involved distributions are unknown. Therefore, less restrictive notions of stationarity have been developed. The most common is *stationarity of covariance*.

Definition 1.5 (Stationarity of covariance). The time series $\{X(t); t \in T\}$ is to be said *stationary for covariance* if

1. $E[X(t)] = \mu$ (constant for all t)
2. $Var[X(t)] = \sigma^2 < \infty$ (i.e., a finite constant for all t)
3. t
4. $\gamma(t_1, t_2)$ depends only on $t_2 - t_1$

Stationarity of covariance is also called weak stationarity, broad stationarity and second-order stationarity.

In time series, as in most areas of statistics, uncorrelated data play an important role. There is no difficulty in defining such a process in the case of a discrete parameter time series. That is, the time series $\{X_t; t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ is called a "purely random process" if the X_t are uncorrelated random variables. When considering purely random processes, we will only be interested in the case where the X_t are also identically distributed. In this situation, it is more common to refer to the time series as *white noise*. The following definition summarizes these observations.

Definition 1.6 (Discrete white noise) The time series is referred to as *discrete white noise* if

1. The X_t 's are identically distributed
2. When $t_2 \neq t_1$ when $\gamma(t, t) = \sigma^2$ where $0 < \sigma^2 < \infty$

An ARIMA (0, 1, 0) series, when it is once differentiated, it becomes an ARMA(0, 0), which is random uncorrelated noise.

If $X_1, X_2, X_3, \dots$

are the random variables of the series, this means that

$$X_{t+1} - X_t = \epsilon_t + 1$$

where $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ is a sequence of centered and uncorrelated random variables.

Reordering

$$X_{t+1} + \epsilon_t$$

Reveals that we have a "paseo aleatorio" or "random walk".

ñarán un papel importante para mejorar nuestra capacidad de analizar una serie temporal sobre la base de una única realización de manera eficaz. Se dice que un proceso es estacionario si se encuentra en un estado de "equilibrio estadístico". El comportamiento básico de una serie temporal de este tipo no cambia con el tiempo. Como ejemplo, para un proceso de este tipo, $\mu(t)$ no dependería del tiempo y, por tanto, podría denotarse μ para todo t . Parece que, dado que $x(t)$ para cada $t \in T$ proporciona información sobre la media del conjunto, μ , puede ser posible estimar μ a partir de una única realización. Un proceso ergódico es aquel para el que las medias del conjunto, como μ , pueden estimarse de forma consistente a partir de una única realización.

La noción más restrictiva de estacionariedad es la de estacionariedad estricta, que definimos como sigue.

Definición 1.4 Un proceso $\{X(t); t \in T\}$ se dice que un proceso es estrictamente estacionario si para cualquier $t_1, t_2, \dots, t_k \in T$ y cualquier $h \in T$, la distribución conjunta de $\{X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_k)\}$ es idéntica a la de $\{X(t_1 + h), X(t_2 + h), \dots, X(t_k + h)\}$.

NOTA: Hemos asumido tácitamente que T es cerrado bajo adición.

La estacionariedad estricta requiere, entre otras cosas, que para cualquier $t_1, t_2 \in T$, las distribuciones de $X(t_1)$ y $X(t_2)$ sean iguales, y además que todas las distribuciones bivariadas de los pares $\{X(t), X(t + h)\}$ sean iguales para todas las h , etc. El requisito de estacionariedad estricta es severo y suele ser difícil de establecer matemáticamente. De hecho, para la mayoría de las aplicaciones, las distribuciones implicadas no se conocen. Por ello, se han desarrollado nociones de estacionariedad menos restrictivas. La más común es la *estacionariedad de covarianza*.

Definición 1.5 (Estacionariedad de la covarianza) La serie temporal $\{X(t); t \in T\}$ se dice que es *estacionaria por covarianza* si

1. $E[X(t)] = \mu$ (constante para todo t)
2. $Var[X(t)] = \sigma^2 < \infty$ (es decir, una constante finita para todo t)
3. t
4. $\gamma(t_1, t_2)$ depende solo de $t_2 - t_1$

Stationarity and differentiation

A stationary time series is that whose properties do not depend on the time at which the series is observed. More specifically, if y_t is a stationary time series, then for all s , the distribution of $(y_t, \dots, y_{t+s})$ does not depend on t . Thus, time series with trend or with stationarity are not stationary: trend and stationarity will affect the value of the time series at different times. On the other hand, a series with white noise is stationary: no matter when it is observed, it should look the same at any time.

Some cases can be confusing: a time series with cyclical behavior (but no trend or seasonality) is stationary. This is because cycles do not have a fixed-term, so before observing the series we cannot be sure where the peaks and valleys of the cycles will be.

In general, a stationary time series will not have predictable long-term patterns. Time charts will show that the series is more or less horizontal (although it is possible that it may have some cyclical behavior), with a constant variance.

Random Walk Model

The differenced series is the change between consecutive observations of the original series, and it can be written as

$$y'_t = y_t - y_{t-1}$$

The differenced series will only have $T - 1$ values, since it is not possible to calculate a y'_1 for the first observation.

When the differenced series is white noise, the model for the original series can be written as

$$y_t - y_{t-1} = \epsilon_t,$$

where ϵ_t denotes white noise. Reordering this, the "paseo aleatorio" or "random walk" is obtained.

$$y_t = y_{t-1} + \epsilon_t$$

Random walk models are widely used for non-stationary data, in particular financial and economic one. Random walks usually have

La estacionariedad de covarianza también se denomina estacionariedad débil, estacionariedad en sentido amplio y estacionariedad de segundo orden.

En las series temporales, como en la mayoría de las áreas de la estadística, los datos no correlacionados desempeñan un papel importante. No hay dificultad en definir tal proceso en el caso de una serie temporal de parámetros discretos. Es decir, la serie temporal $\{X_t; t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ se denomina "proceso puramente aleatorio" si las X_t son variables aleatorias no correlacionadas. Al considerar los procesos puramente aleatorios, solo nos interesará el caso en el que las X_t estén también idénticamente distribuidas. En esta situación, es más común referirse a las series temporales como *ruido blanco*. La siguiente definición resume estas observaciones.

Definición 1.6 (Ruido blanco discreto) La serie temporal se denomina *ruido blanco discreto* si

1. Las X_t 's están idénticamente distribuidas
2. Cuando $t_2 \neq t_1$ cuando $\gamma(t, t) = \sigma^2$ donde $0 < \sigma^2 < \infty$

Una serie ARIMA(0, 1, 0), cuando se diferencia una vez, se convierte en un ARMA(0, 0), que es ruido aleatorio, no correlacionado.

Si $X_1, X_2, X_3, \dots$

son las variables aleatorias de la serie, esto significa que

$$X_i + 1 - X_i = \epsilon_i + 1$$

donde $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ es una secuencia de variables aleatorias centradas y no correlacionadas.

Reordenando

$$X_i + 1 + \epsilon_i$$

revela que tenemos un "paseo aleatorio" o "random walk".

Estacionariedad y diferenciación

Una serie temporal estacionaria es aquella cuyas propiedades no dependen del momento en el que se observa la serie. Más concretamente, si y_t es una serie temporal estacionaria, entonces para todo s , la distribución de $(y_t, \dots, y_{t+s})$ no depende de t . Así, las series temporales con tendencia o con estacionalidad

- long periods of apparent upward or downward trend
- sudden and unpredictable direction changes.

The forecasts of a *random walk* model are equal to the last observation, since future movements are unpredictable and have the same probability of being upward or downward. Thus, the random walk model supports *naïve* forecasts.

A closely related model allows the differences to have a non-zero mean. Then:

$$y_t - y_{t-1} = c + \epsilon_t$$

o

$$y_t = c + y_{t-1} + \epsilon_t$$

The value of c is the mean of the changes between consecutive observations la media de los cambios. If c is positive, the mean change is an increase in the value of y_t . Therefore, y_t will tend to rise. However, if c is negative, y_t will tend to drift downward.

This is the model on which the “*drift*” method is based.

Results

First, the calculated results with the Lafay Index are presented, in order to analyze the positioning of the United States, Brazil and Argentina in relation to soybean worldwide exports, and then a time series of these indexes is presented.

LafayIndex

The production value has been considered to calculate this indicator, exports and imports of the United States, Brazil and Argentina, in dollars (USD) for the 1990-2020 years, were also considered. Table 1 presents the Lafay Indexes for the United States, Brazil and Argentina. The index by country shows important specialization and net exporters. Only at the end of the period, Argentina loses that position, as the index dropped to a belowed level 1. This fact reflects the decrease in exports (Figure 1) and a stagnation in national production (Figure 2). In a closer analysis of the Lafay Index, it is observed that the United States has the best performance during the whole period,

no son estacionarias: la tendencia y la estacionalidad afectarán al valor de la serie temporal en diferentes momentos. Por otro lado, una serie con ruido blanco es estacionaria: no importa cuando se observe, debería tener el mismo aspecto en cualquier momento.

Algunos casos pueden ser confusos: una serie temporal con comportamiento cíclico (pero sin tendencia ni estacionalidad) es estacionaria. Esto se debe a que los ciclos no tienen una duración fija, por lo que antes de observar la serie no podemos estar seguros de donde estarán los picos y los valles de los ciclos.

En general, una serie temporal estacionaria no tendrá patrones predecibles a largo plazo. Los gráficos temporales mostrarán que la serie es más o menos horizontal (aunque es posible que tenga algún comportamiento cíclico), con una varianza constante.

Modelo Random Walk

La serie diferenciada es el cambio entre observaciones consecutivas de la serie original, y puede escribirse como

$$y'_t = y_t - y_{t-1}$$

La serie diferenciada solo tendrá valores $T - 1$, ya que no es posible calcular una diferencia y'_1 para la primera observación.

Cuando la serie diferenciada es ruido blanco, el modelo para la serie original puede escribirse como

$$y_t - y_{t-1} = \epsilon_t,$$

donde ϵ_t denota ruido blanco. Reordenando esto se obtiene el modelo de “paseo aleatorio” o “*random walk*”.

$$y_t = y_{t-1} + \epsilon_t$$

Los modelos *random walk* se utilizan ampliamente para los datos no estacionarios, en particular los datos financieros y económicos. Los paseos aleatorios suelen tener

- largos periodos de aparente tendencia al alza o a la baja
- cambios de dirección repentinos e imprevisibles.

although Brazil showed a very important growth in the index from the end of the 90's until 2009, surpassing the United States at some points. The significance in the increase of values in the latter country, expresses the high proportion exported in relation to national production, indicating a higher level of national specialization in soybean production than the other two countries, in 2019 and 2020 years.

The Lafay index performance (IL) for the United States, Brazil and Argentina in the period 1990-2020 reflects the changing dynamics of global soybean trade, a key product in the world agricultural economy. This indicator makes it possible to evaluate the revealed comparative advantages of each country, showing both the specialization and competitiveness of their markets in relation to this strategic crop (Figure 3).

The United States has maintained a leading position in soybean trade, with a consistently high Lafay Index throughout much of the analyzed period. During the 1990s and early 2000s, the IL fluctuated

Las previsiones de un modelo *random walk* son iguales a la última observación, ya que los movimientos futuros son imprevisibles y tienen la misma probabilidad de ser al alza o a la baja. Así pues, el modelo de paseo aleatorio sustenta las previsiones ingenuas (*"naive"*).

Un modelo estrechamente relacionado permite que las diferencias tengan una media distinta de cero. Entonces:

$$y_t - y_{t-1} = c + \epsilon_t$$

o

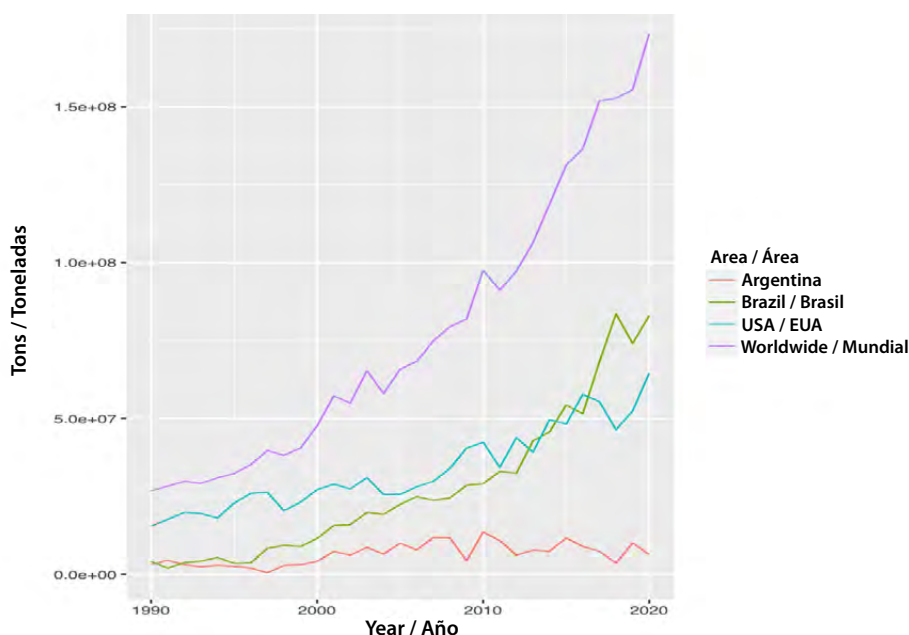
$$y_t = c + y_{t-1} + \epsilon_t$$

El valor de c es la media de los cambios entre observaciones consecutivas. Si c es positivo, el cambio medio es un aumento del valor de y_t . Por lo tanto, y_t tenderá a subir. Sin embargo, si c es negativo, y_t tenderá a desviarse hacia abajo.

Este es el modelo en el que se basa el método de la deriva (*"drift"*).

Figure. 1. Worldwide soybean production. Main producers: Argentina, Brazil and United States, as well as the total world production.

Figura. 1. Producción de soja en el mundo. Principales productores: Argentina, Brasil y Estados Unidos, así como su producción total mundial.



Source: Authors' self-made, based on FAO (2022) data.

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de datos de FAO (2022).

Table 1. Lafay indexes, USA, Brazil and Argentina.
Cuadro 1. Índices de Lafay, EUA, Brasil y Argentina.

Year / Año	USA / EUA	Brazil / Brasil	Argentina
1990	NA	1.26	NA
1992	1.50	1.24	1.38
1993	1.62	NA	NA
1994	1.36	NA	NA
1995	1.62	1.16	1.25
1996	1.63	1.18	1.18
1997	1.49	1.43	NA
1998	1.33	1.36	1.15
1999	1.40	1.35	1.12
2000	1.41	1.40	1.07
2001	1.42	1.49	1.10
2002	1.44	1.40	1.13
2003	1.52	1.35	1.09
2004	1.22	1.38	1.07
2005	1.21	1.39	1.07
2006	1.27	1.34	1.04
2007	1.33	1.29	1.08
2008	1.30	1.27	1.04
2009	1.26	1.28	1.02
2010	1.26	1.18	1.05
2011	1.17	1.20	1.07
2012	1.28	1.15	1.01
2013	1.23	1.16	1.03
2014	1.22	1.19	1.03
2015	1.23	1.17	1.04
2016	1.25	1.16	1.02
2017	1.23	1.18	1.02
2018	1.33	1.17	1.06
2019	1.58	1.17	1.02
2020	1.52	1.18	0.98

between 1.17 and 1.63, reflecting the strength of its highly technified and diversified agricultural system (Figure 4). This advantage allowed it to dominate key markets such as China, the European Union and Mexico. However, since 2011, the index has tended to stabilize at lower values (around 1.17-1.28), which could suggest a relative decline in its competitiveness vis-à-vis Brazil, especially in the Asian market.

The rebound of the IL in 2019, reaching 1.58, can be explained by conjunctural factors, such as the effects of the trade war between the United States

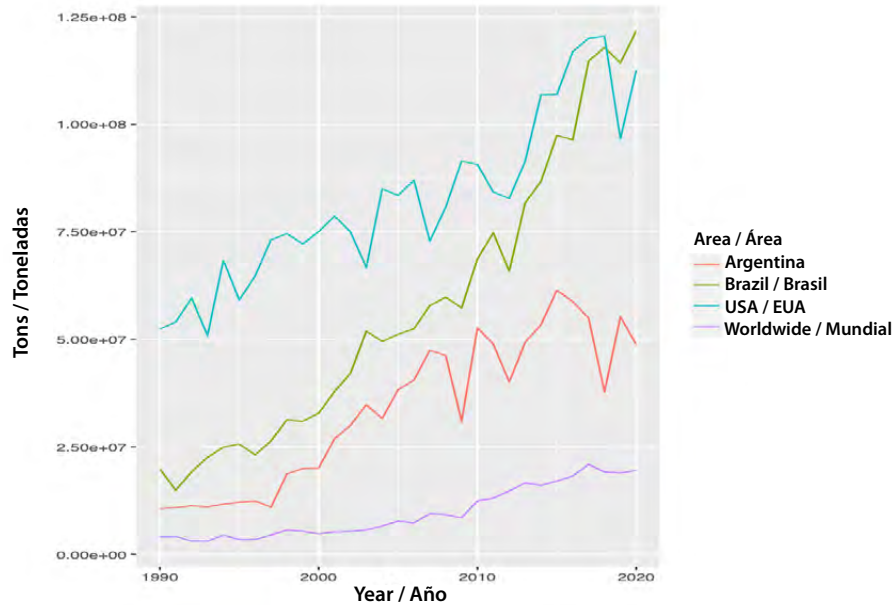
Resultados

Primero, se presentan los resultados calculados con el Índice de Lafay, con el motivo de analizar el posicionamiento de Estados Unidos, Brasil y Argentina en relación con las exportaciones de soya a nivel mundial, posteriormente, se presenta una serie de tiempo de dichos índices.

Índice de Lafay

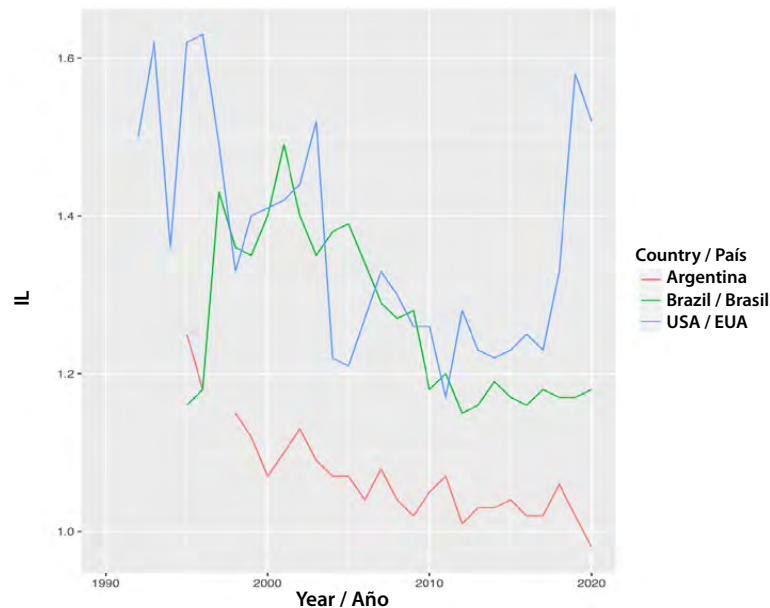
Se ha considerado el valor de la producción para calcular este indicador, también se consideraron las ex-

Figure 2. Soybean exports. Main exporters: United States, Argentina and Brazil.
Figura 2. Exportaciones de soja. Principales exportadores: Estados Unidos, Argentina y Brasil.



Source: Authors' self-made, based on FAO (2022) data.
 Fuente: Elaboración de los autores, a partir de datos de FAO (2022).

Figure 3. Lafay indexes, EUA, Brasil y Argentina. Dashed lines indicate that the necessary information is not available for those years to calculate the Lafay.
Figura 3. Índices de Lafay, EUA, Brasil y Argentina. Las líneas discontinuas, indican que no se cuenta con la información necesaria, de esos años, para el cálculo del Índice de Lafay.



Source: Authors' self-made.
 Fuente: Elaboración de los autores.

Figure 4. Lafay Index for United States of America with a 10 year projection, with confidence intervals for the projection.

Figura 4. Índice de Lafay para Estados Unidos de América con una proyección a 10 años, con los intervalos de confianza para la proyección.

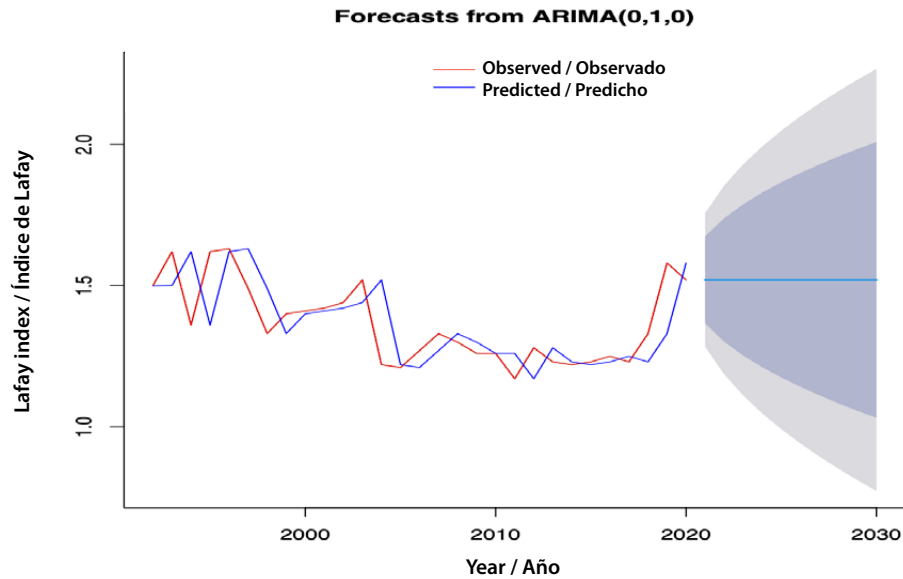
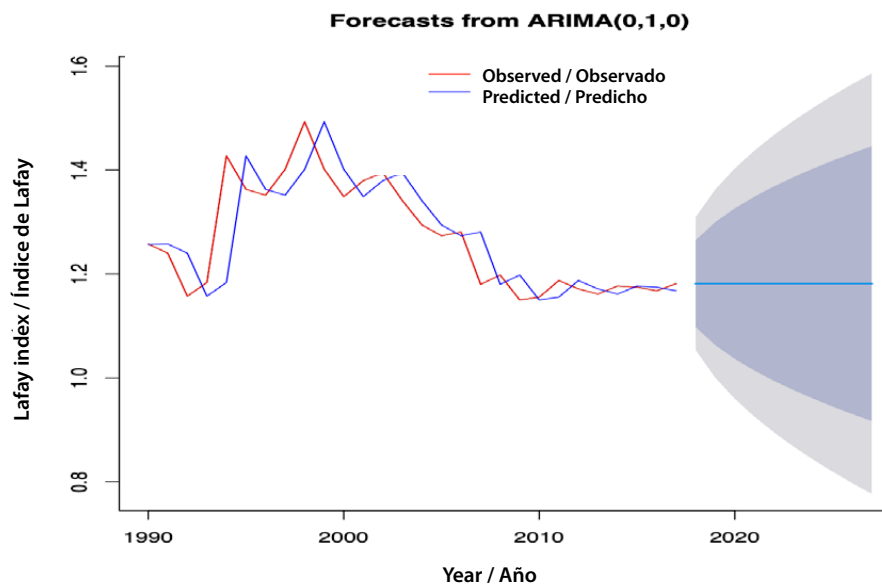


Figure: Authors' self-made.

Figura: Elaboración de los autores.

Figura 5. Lafay Index for Brazil with a 10-year projection, with the CIs for the same one.

Figura 5. Índice de Lafay para Brasil con una proyección a 10 años, con los IC para ésta.



Source: Authors' self-made.

Fuente: Elaboración de los autores.

and China, which altered the usual international trade flows. Despite these fluctuations, the United States remains a key player in the global soybean trade, thanks to its ability to adapt to changes in international demand and maintain its productivity through technological innovation and the alternative markets expansion.

Brazil shows an upward trajectory in the Lafay Index, which is evidence of its growing specialization and competitiveness in international soybean trade. During the 1990s, the Brazilian IL was at moderate levels (1.16-1.43), but since 2000, Brazil has been consolidating its comparative advantage, with values ranging between 1.18 and 1.49. This growth is closely linked to the expansion of the agricultural frontier, the intensive use of biotechnology, and an increasingly efficient export infrastructure, which allowed it to meet the growing demand of markets such as China.

In the last decade (2010-2020), Brazil's IL stabilized around 1.15-1.20, reflecting that the country achieved a solid position in international soybean trade. However, this growth has not been without challenges, such as environmental conflicts arising from agricultural expansion in the Amazon region and logistical challenges in growing areas. Nevertheless, Brazil has consolidated its position as the world's leading soybean exporter, especially to the Chinese market, the largest global importer.

Compared to the United States and Brazil, Argentina has a lower Lafay Index, reflecting a more moderate comparative advantage. During the 1990s and early 2000s, IL values for Argentina ranged between 1.07 and 1.25, which is evidence of a positive specialization in soybean trade and, in particular, of its dairy products such as oil and meal, products that represent a significant proportion of the country's exports.

However, starting in 2006, Argentina's IL begins to show a downward trend, standing at around 1.03 by 2013 and reaching values as low as 0.98 in 2020. This decline suggests a relative loss of competitiveness compared to Brazil and the United States, driven by several factors. These include domestic economic policies, such as export withholding taxes, which reduced incentives for growers; lack of investment in agricultural technology; and a high dependence on variable weather conditions, which significantly affect productivity. Despite this trend, Argentina

portaciones e importaciones de Estados Unidos, Brasil y Argentina, en dólares (USD) para los años de 1990-2020. El Cuadro 1 presenta los Índices de Lafay en Estados Unidos, Brasil y Argentina. El índice por país muestra, especialización importante y exportadores netos. Solo al final del periodo, Argentina pierde esa posición, pues el índice bajó a un nivel inferior a 1. Este hecho, es reflejo de la disminución de las exportaciones (Figura 1) y un estancamiento en la producción nacional (Figura 2). En un análisis más cerca del Índice de Lafay, se observa que los Estados Unidos tienen el mejor comportamiento, durante todo el periodo, aunque Brasil mostró un crecimiento muy importante en el índice, desde fines de los 90 hasta 2009, superando en algunos momentos a los Estados Unidos. El significado en el incremento de los valores en este último país, expresa la elevada proporción exportada en relación con la producción nacional, indicando un nivel superior de especialización nacional en la producción de soya que los otros dos países, en los años 2019 y 2020.

El comportamiento del Índice de Lafay (IL) para Estados Unidos, Brasil y Argentina en el periodo 1990-2020 refleja las dinámicas cambiantes del comercio global de soya, un producto clave en la economía agrícola mundial. Este indicador permite evaluar las ventajas comparativas reveladas de cada país, mostrando tanto la especialización como la competitividad de sus mercados en relación con este cultivo estratégico (Figura 3).

Estados Unidos ha mantenido una posición de liderazgo en el comercio de soya, con un Índice de Lafay consistentemente alto en gran parte del periodo analizado. Durante los años 90 y principios de los 2000, el IL fluctuó entre 1.17 y 1.63, reflejando la fortaleza de su sistema agrícola, altamente tecnificado y diversificado (Figura 4). Esta ventaja le permitió dominar mercados clave como China, la Unión Europea y México. Sin embargo, a partir del 2011, el índice mostró una tendencia hacia la estabilización en valores más bajos (alrededor de 1.17-1.28), lo que podría sugerir una disminución relativa de su competitividad frente a Brasil, especialmente en el mercado asiático.

El repunte del IL en 2019, alcanzando 1.58, puede explicarse por factores coyunturales, como los efectos de la guerra comercial entre Estados Unidos y China, que alteraron los flujos habituales del comercio inter-

goes on playing an important role in the international soybean trade, especially thanks to its capacity to process the grain into value-added products.

Time series analysis

The time series models were estimated using the *auto.arima()* function of R (R Core Team, 2024). For the three countries an ARIMA (0, 1, 0) model was obtained, which is known as *Random Walk Forecast*. These models, after first differencing, are converted to an ARIMA (0, 0). They can also be estimated using the *naïve* method and, for forecasting, we simply set all forecasts to be the value of the last observation. That is,

$$\hat{y}_T + h | T = y_T.$$

This method works very well for many economic and financial time series (Hyndman & Athanasopoulos, 2021)

For all three countries, we find an ARIMA (0, 1, 0) model (Figures 4, 5 and 6). However, for Argentina it was found that the model is with *drift*. For the projection of the Lafay indexes for the United States, it would be equal to the last data. However, for Argentina, this is not the case, so the 10-year projection is shown in Table 2 and Figure 6.

Discussion

The use of the Lafay Index (IL) in this study is based on its ability to provide a comprehensive view of revealed comparative advantage by considering both net exports and net imports in global trade. Although the Constant Market Share (CMS) model, employed by Figueira & Galache (2023), is useful for identifying specific factors that explain export performance—such as world trade growth, export destination, and competitiveness—its scope focuses on point variations in a product, such as soybeans. In contrast, the Lafay Index encompasses a broader analysis of economic specialization, integrating all stages of a product's value chain (e.g., soybeans grains, oil and farelo), which is key for countries such as Argentina, where most soybean production is destined for domestic processing and export of derivatives (Figueira & Galache, 2023).

nacional. A pesar de estas fluctuaciones, Estados Unidos sigue siendo un actor clave en el comercio global de la soya, gracias a su capacidad para adaptarse a los cambios en la demanda internacional y mantener su productividad a través de la innovación tecnológica y la expansión de mercados alternativos.

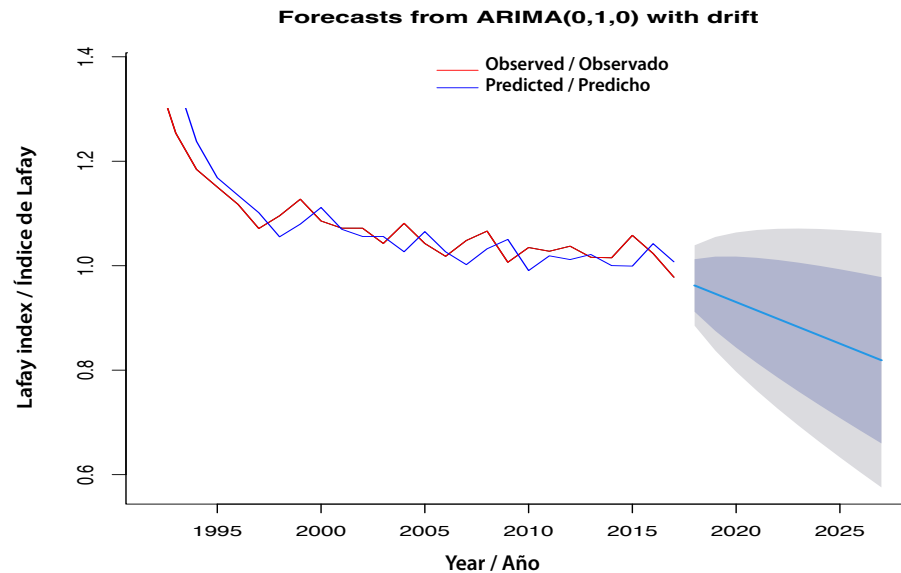
Brasil presenta una trayectoria ascendente en el Índice de Lafay, lo que evidencia su creciente especialización y competitividad en el comercio internacional de soya. Durante los años 90, el IL brasileño se situó en niveles moderados (1.16-1.43), pero a partir del 2000 se observa una consolidación de su ventaja comparativa, con valores que oscilan entre 1.18 y 1.49. Este crecimiento está estrechamente ligado a la expansión de la frontera agrícola, el uso intensivo de biotecnología, y una infraestructura cada vez más eficiente para la exportación, que le permitió atender la creciente demanda de mercados como China.

En la última década (2010-2020), el IL de Brasil se estabiliza en torno a 1.15-1.20, lo que refleja que el país alcanzó una posición sólida en el comercio internacional de soya. Sin embargo, este crecimiento no ha estado exento de desafíos, como los conflictos ambientales derivados de la expansión agrícola en la región amazónica y los retos logísticos en áreas productoras. A pesar de ello, Brasil se ha consolidado como el principal exportador de soya del mundo, especialmente hacia el mercado chino, el mayor importador global.

En comparación con Estados Unidos y Brasil, Argentina presenta un Índice de Lafay más bajo, lo que refleja una ventaja comparativa más moderada. Durante los años 90 y principios del 2000, los valores del IL para Argentina oscilaron entre 1.07 y 1.25, lo que evidencia una especialización positiva en el comercio de soya y, en particular, de sus derivados como el aceite y la harina, productos que representan una proporción significativa de las exportaciones del país.

Sin embargo, a partir de 2006, el IL de Argentina comienza a mostrar una tendencia descendente, situándose en torno a 1.03 hacia 2013 y alcanzando valores tan bajos como 0.98 en 2020. Este declive sugiere una pérdida relativa de competitividad en comparación con Brasil y Estados Unidos, impulsada por varios factores. Entre ellos destacan las políticas económicas internas, como las retenciones a las exportaciones, que redujeron los incentivos para

Figure 6. Argentina's Lafay Index with a projection and its confidence intervals to 10 years.
Figura 6. Índice de Lafay de Argentina con una proyección y sus intervalos de confianza, a 10 años.



Source: Authors' self-made.

Fuente: Elaboración por los autores.

Table 2. Argentina's 10-year projection of the Lafay Index, as well as confidence intervals.
Cuadro 2. Proyección del Índice de Lafay, para Argentina, a 10 años, así como los intervalos de confianza.

Years / Años	ICinf	Mean / Media	ICsup
2021	0.8852	0.9621	1.039
2022	0.8374	0.9462	1.055
2023	0.7970	0.9303	1.064
2024	0.7605	0.9144	1.068
2025	0.7264	0.8985	1.071
2026	0.6941	0.8826	1.071
2027	0.6631	0.8667	1.070
2028	0.6331	0.8508	1.068
2029	0.6040	0.8349	1.066
2030	0.5756	0.8190	1.062

The Lafay Index reflects the global competition around the world soybean markets. Precisely the largest and most expanding market is China. Competition in soybean production and exports in the world has been concentrated in these three countries. The Lafay Index for the three countries showed that Brazil has been steadily gaining competitiveness. The United States has also shown positive results, which

los productores; la falta de inversiones en tecnología agrícola; y una alta dependencia de condiciones climáticas variables, que afectan significativamente la productividad. Pese a esta tendencia, Argentina sigue desempeñando un papel importante en el comercio internacional de soya, especialmente gracias a su capacidad de procesar el grano en productos con valor agregado.

indicates that soybean production and exports in the country have gone on growing steadily, but at lower rates of increase than those of Brazil, so it has lost ground to Brazil. Argentina, on the other hand, although an important world producer and exporter, is in third place, distanced from the world leaders. In the last year, it has steadily lost competitiveness (the index fell below 1) and is an expression of the loss of weight in worldwide exports.

The competition between Brazil and the United States is an expression of the strategic interests of both countries for the dominance of the world soybean market. Time series of the Lafay Index were calculated for the three countries and it was obtained, for the United States and Brazil, that both have a regular behavior, with similar trends, with a prediction of maintaining stable Lafay Index levels in the long term. Brazil's behavior is also very similar to that of the United States; the ILF will apparently remain at the same levels in the medium term. In contrast, Argentina has a medium-term downward trend, which reflects the recent behavior of domestic production. In 2014-2015 it reached the maximum production peak, not yet recovering that level (FAO, 2022).

Conclusions

The results of this analysis make it clear that the United States, Brazil and Argentina have a strong international specialization in soybean production and exports. These three countries not only lead the global trade of this legume but also play a crucial role in their national economies by positioning themselves as the world's largest net exporters. This leadership, backed by comparative advantages, has been key to soybean's consolidation as a strategic product in their agricultural export profile.

A relevant observation is that most of the soybean exports of these countries are directed to China, which is today the largest importer of soybeans in the world. This trade linkage has not only allowed these countries to supply the growing Chinese demand, but also to expand their reach into other international markets, thus strengthening their role in global agricultural trade.

In addition, these results have shown that soybeans have gained prominence in the export

Análisis de serie de tiempo

Los modelos de serie de tiempo fueron estimados usando la función *auto.arima()* de R (R Core Team, 2024). Para los tres países se obtuvo un modelo ARIMA(0, 1, 0), el cual es conocido como *Random Walk Forecast* (Predicción de paseo aleatorio). Estos modelos, después de la primera diferenciación, se convierten en un ARIMA(0, 0). Asimismo, se pueden estimar usando el método *naïve* (ingenuo) y, para hacer pronósticos, simplemente establecemos que todas las previsiones sean el valor de la última observación. Es decir,

$$\hat{y}_T + h|T = y_T.$$

Este método funciona muy bien para muchas series temporales económicas y financieras (Hyndman & Athanasopoulos, 2021).

Para los tres países, encontramos un modelo ARIMA(0, 1, 0) (Figuras 4, 5 y 6). Sin embargo, para Argentina encontramos que el modelo es con "*drift*". Para la proyección, de los índices de Lafay para Estados Unidos, sería igual al último dato. Sin embargo, para Argentina, no es así, por lo que se muestra, en el Cuadro 2 y la Figura 6, la proyección a 10 años.

Discusión

El uso del Índice de Lafay (IL) en este estudio se fundamenta en su capacidad para ofrecer una visión integral de la ventaja comparativa revelada, al considerar tanto las exportaciones como las importaciones netas en el comercio global. Aunque el modelo Constant Market Share (CMS), empleado por Figueira & Galache (2023), es útil para identificar los factores específicos que explican el desempeño exportador —como el crecimiento del comercio mundial, el destino de las exportaciones y la competitividad—, su alcance se centra en variaciones puntuales de un producto, como la soja en grano. En contraste, el Índice de Lafay abarca un análisis más amplio de la especialización económica, integrando todas las etapas de la cadena de valor de un producto (por ejemplo, la soja en grano, el aceite y el farelo), lo cual resulta clave para países como Argentina, donde la mayor parte de la producción de soja se destina al procesamiento interno y exportación de derivados (Figueira & Galache, 2023).

dynamics of these nations, registering continuous growth in recent decades. Factors such as increased agricultural productivity, the expansion of the agricultural frontier and sustained international demand have been decisive in achieving this success.

However, it is important to recognize the limitations of this study. The research focused exclusively on the variables of soybean production, exports and imports in the three mentioned countries, considering only the period 1990-2020. This temporal delimitation responds to the availability of data in the consulted sources, which left out information from more recent years. Despite this limitation, the study manages to offer a comprehensive view of the leading role played by the United States, Brazil and Argentina in world soybean trade.

Finally, this study opens the door to further research that addresses additional factors such as logistical costs, trade policies, environmental sustainability and changes in market trends in recent years. Expanding the analysis to these aspects will provide a better understanding of the challenges and opportunities facing the global soybean trade in an increasingly complex economic and climatic environment.

End of English version

References / Referencias

- Ablin, E. R., & Paz, S. (2004). Política comercial y organismos genéticamente modificados: el mercado mundial de la soja y el caso de Argentina. En: Bárcena, A.; Katz, J.; Morales, C. y Schaper, M. (Eds.) *Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile: Naciones Unidas. Disponible en: <https://ideas.repec.org/b/ecr/col015/2410.html>
- Banco Mundial. (2022). *Cuatro décadas de reducción de la pobreza en China*. Disponible en: https://spanish.china.org.cn/txt/2022-04/02/content_78145876.htm
- Burgos, M. (2023). *El triángulo de la soja: China - Estados Unidos - Argentina (2001-2019)* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Quilmes]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Quilmes. Disponible en: <https://ridaa.unq.edu.ar/>
- China International Import Expo. (2023). China's food import. Nation develops growing appetite for food imports. Dis-

El Índice Lafay refleja la competencia mundial en torno a los mercados mundiales de soja. Precisamente el mercado más grande y de mayor expansión es el de China. La competencia en la producción y exportaciones de soja en el mundo, se han concentrado en esos tres países. La obtención del Índice de Lafay para los tres países mostró, que Brasil, ha ido sostenidamente ganando competitividad. Estados Unidos ha mostrado igualmente resultados positivos lo cual indica que la producción y exportaciones de soja en el país han continuado creciendo sostenidamente, pero a tasas de incremento menores que las de Brasil, por lo que ha perdido posiciones ante él. En cambio, Argentina aunque es un importante productor y exportador mundial, ocupa un tercer puesto, distanciado de los líderes mundiales. En el último año, ha perdido sostenidamente competitividad (el índice bajó por debajo de 1), y es expresión de la pérdida de peso en las exportaciones mundiales.

La competencia entre Brasil y los Estados Unidos es expresión de los intereses estratégicos de ambos países por el dominio del mercado mundial de soja. Se calcularon series de tiempo de Índice de Lafay para los tres países y se obtuvo, para Estados Unidos y Brasil, que ambos tienen un comportamiento regular, con tendencias similares, con una predicción de mantener niveles de Índice de Lafay estables en el largo plazo. En Brasil también el comportamiento es muy semejante a los Estados Unidos, el ILF al parecer se va a mantener a los mismos niveles en el mediano plazo. En cambio, Argentina tiene una tendencia a mediano plazo a la reducción, lo cual refleja el comportamiento reciente de la producción nacional. En 2014-2015 se alcanzó el tope máximo de producción, no recuperando aún ese nivel (FAO, 2022).

Conclusiones

Los resultados de este análisis dejan en claro que Estados Unidos, Brasil y Argentina tienen una marcada especialización internacional en la producción y exportación de soja. Estos tres países no solo lideran el comercio global de esta leguminosa, sino que también desempeñan un papel crucial en sus economías nacionales al posicionarse como los mayores exportadores netos a nivel mundial. Este liderazgo, respaldado por ventajas comparativas, ha sido clave para

- ponible en: <https://www.ciiie.org/zbh/en/news/exhibition/news/20231207/42163.html>
- Durán Lima, J. E., & Álvarez, M. (2011). *Manual de comercio exterior y política comercial: Nociones básicas, clasificaciones e indicadores de posición y dinamismo*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/28a92c0e-9b69-4df8-afb7-9bd811b9a639/content>
- Dwevedi, A., & Kayastha, A. M. (2011). Soybean: A multifaceted legume with enormous economic capabilities. (Ng, Ed.), Soybean - Biochemistry, Chemistry and Physiology. Ng. DOI: 10.5772/15505 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *FAOSTAT: Base de datos estadística de la FAO*. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Figueira, S. R. F., & Galache, V. O. (2023). Análise comparativa da competitividade das exportações de soja em grão do Brasil, Estados Unidos e Argentina. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 61(1), e245403. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.245403>
- García-Fernández, F., Domínguez Jardines, A. L., & Galván Vera, A. (2018). *Cadena de valor y sistema de innovación de la soja en el noreste de México*. Ciudad México: COLOFON/UAT.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice*. Disponible en: <https://robjhyndman.com/uwafiles/fpp-notes.pdf>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2022). *Informe anual de 2021 del IICA*. Disponible en: https://apps.iica.int/SReunionesOG/Content/Documents/CE-2022/cf00fc8b-9051-4258-8053-711abbe54d76_dt741_informe_anual_de_2021_del_iica.pdf
- Infobae. (2024). 2024 será el año de los retos medioambientales para Brasil, desde la emergencia yanomami hasta la deforestación en el Cerrado. Disponible en: <https://www.infobae.com/america/america-latina/2024/01/13/2024-sera-el-ano-de-los-retos-medioambientales-para-brasil-desde-la-emergencia-yanomami-hasta-la-deforestacion-en-el-cerrado/>
- Mesquita, F. C., & Lemos Alves, V. E. (2013). Globalización y transformación del paisaje agrícola en América Latina: las nuevas regiones de expansión de la soja en Brasil y la Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 22(2), 11-42.
- OECD/FAO (2017), OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026, OECD Publishing, Paris. Disponible en: https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-es
- que la soja se consolide como un producto estratégico en su perfil agrícola exportador.
- Una observación relevante es que la mayor parte de las exportaciones de soja de estos países está dirigida a China, que hoy es el mayor importador de soja en el mundo. Este vínculo comercial no solo ha permitido a estos países abastecer la creciente demanda china, sino también expandir su alcance hacia otros mercados internacionales, fortaleciendo así su papel en el comercio agrícola global.
- Además, los resultados reflejan que la soja ha ganado protagonismo en la dinámica exportadora de estas naciones, registrando un crecimiento continuo en las últimas décadas. Factores como el aumento de la productividad agrícola, la expansión de la frontera agrícola y la sostenida demanda internacional han sido determinantes para alcanzar este éxito.
- Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones de este estudio. La investigación se centró exclusivamente en las variables de producción, exportación e importación de soja en los tres países mencionados, considerando únicamente el período 1990-2020. Esta delimitación temporal responde a la disponibilidad de datos en las fuentes consultadas, lo que dejó fuera la información de años más recientes. A pesar de esta limitación, el trabajo logra ofrecer una visión integral del rol protagónico que Estados Unidos, Brasil y Argentina desempeñan en el comercio mundial de soja.
- Por último, este estudio abre la puerta a nuevas investigaciones que aborden factores adicionales como los costos logísticos, las políticas comerciales, la sostenibilidad ambiental y los cambios en las tendencias del mercado en los últimos años. Ampliar el análisis hacia estos aspectos permitirá entender mejor los desafíos y oportunidades que enfrenta el comercio global de la soja en un entorno económico y climático cada vez más complejo.

Fin de la versión en español

- R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <https://www.R-project.org/>
- Trigo, E. J. (2011). *Veinte años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina*. Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología (ArgenBio).
- United States Department of Agriculture (USDA) (2020). *FY 2020 agency financial report*. USDA. Disponible en: https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/FY_2020_Agency_Financial_Report.pdf
- United States Department of Agriculture (USDA). (2022). *Soybean exports: The role of the United States in global trade*. Washington, DC: USDA. Disponible en: https://fas.usda.gov/sites/default/files/2023-05/2022-Yearbook_0.pdf
- World Bank. (2018). World Bank Commodities Price Data (The Pink Sheet). Disponible en: <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/283421538517311854-0050022018/original/CMOPinkSheetOctober2018.pdf>