



**UNIVERSIDAD FEDERAL DE LA INTEGRACIÓN LATINOAMERICANA
INSTITUTO LATINOAMERICANO DE ECONOMÍA, SOCIEDAD Y POLÍTICA
PROGRAMA DE POST GRADO EN POLÍTICAS PÚBLICAS Y DESARROLLO**

ECOEficiencia DE LA AGRICULTURA DE LOS PAÍSES DEL MERCOSUR

ANDREA GUADALUPE SOTTO CALONGA

DISERTACIÓN

Foz de Iguazú

2025

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - CENTRAL

S718

Sotto Calonga, Andrea Guadalupe

Ecoeficiencia de la agricultura de los países del Mercosur / Andrea Guadalupe Sotto Calonga. - Foz do Iguaçu-PR, 2025.

46 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Instituto Latino-Americano de Economia, Sociedade e Política, Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento. Foz do Iguaçu-PR, 2025.

Orientador: Guillermo Javier Díaz Villavicencio.

1. Ecoeficiencia. 2. Análise de envoltória de dados. 3. Função Distância Direcional. 4. MERCOSUL (Organização). I. Villavicencio, Guillermo Javier Díaz. II. Título.

CDU 631:339.923



**UNIVERSIDAD FEDERAL DE LA INTEGRACIÓN LATINOAMERICANA
INSTITUTO LATINOAMERICANO DE ECONOMÍA, SOCIEDAD Y POLÍTICA
PROGRAMA DE POST GRADO EN POLÍTICAS PÚBLICAS Y DESARROLLO**

ECOEficiencia DE LA AGRICULTURA DE LOS PAÍSES DEL MERCOSUR

ANDREA GUADALUPE SOTTO CALONGA

Disertación presentada al Programa de Post Grado en Políticas Públicas y Desarrollo de la Universidad Federal de la Integración Latinoamericana, como requisito parcial a la obtención del título de Magíster en Políticas Públicas y Desarrollo.

Orientador: Prof. Dr. Guillermo Javier Díaz Villavicencio.

Foz de Iguazú

2025

ANDREAGUADALUPE SOTTO CALONGA

ECOEficiencia DE LA AGRICULTURA DE LOS PAÍSES DEL MERCOSUR

Disertación presentada al Programa de Post Grado en Políticas Públicas y Desarrollo de la Universidad Federal de la Integración Latinoamericana, como requisito parcial a la obtención del título de Magíster en Políticas Públicas y Desarrollo.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Guillermo Javier Díaz Villavicencio.

UNILA

Prof. PhD. Gilson Batista de Oliveira
UNILA

Prof. Dr. Exzolvildres Queiroz Neto
UFOP

Prof. Me. Christian Rodrigo Álvarez Mancilla
Universidad Serena- Chile

Foz de Iguazú, 30 de junio de 2025.

Dedico este trabajo a las personas más importantes de mi vida: Rosa Adriana, mi madre; Edgar Dionicio, mi padre y Flora Sotto Clabonde Dos Anjos, mi amada hija. Son ellos mis motores que nortean mis anhelos y mi fuerza para seguir creciendo personal y profesionalmente.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero declarar mi total agradecimiento al Programa de Becas Institucionales de la UNILA- PROBIU, por darme la oportunidad de dedicarme exclusivamente a la maestría bajo la seguridad del financiamiento del que pude beneficiarme en estos dos años de estudios.

Agradezco a mi Orientador Prof. Dr. Guillermo Javier Díaz Villavicencio por toda su entrega y parcería, enseñanzas y oportunidades que me brindó, los cuales, guiaron y fortalecieron mi camino como investigadora científica para hoy poder llegar a concluir esta maestría.

Agradezco a los profesores miembros de la banca examinadora, el Prof. PhD. Gilson Batista de Oliveira de la UNILA, con quien tuve el privilegio de cursar disciplinas durante la maestría y el Prof. Dr. Exzolvildres Queiroz Neto de la UFOP que fue mi profesor durante años en el curso de grado de Desarrollo Rural y Seguridad Alimentaria. Ambos profesores, con total compromiso y dedicación entregaron importantes contribuciones que orientaron y resultaron en esta disertación.

Finalmente, y no menos importante, agradezco al Programa de Post Grado en Políticas Públicas y Desarrollo de la UNILA por ofrecerme la oportunidad de realizar mis estudios de Post Grado en una universidad pública, gratuita y de calidad para convertirme en la primera persona de mi familia en obtener un título de magíster.

*Foi na figueira que ele me apareceu
Olhou pra mim e um sorriso ele me deu
Com a cruz de Deus ele me benzeu
E uma luz no meu peito ele acendeu
Eu agradeço a este ancião
Que iluminou o meu coração
Agora eu rezo toda hora e todo dia
Agradecendo a vossa luz na minha guia
Veio das estrelas para me guiar
Aqui na terra para me abençoar*

(Veio das Estrelas, Vitor Paulo Teixeira)

RESUMEN

Diversos estudios generados por el Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos (IPCC), han impactado en las mediciones de ecoeficiencia dentro de los sectores productivos del planeta (que afectan al medioambiente), estos estudios han logrado impactar en las políticas públicas y empresariales debido a su alta relevancia en el desafío de asegurar la sostenibilidad del planeta a largo plazo. Uno de los principales desafíos es la actividad agrícola que genera N₂O emitiendo un 24% del total de los gases de efecto invernadero. En este contexto, la investigación realiza una revisión sistemática de la literatura sobre los conceptos utilizados para denominar la ecoeficiencia en prácticas agrícolas; se conduce una revisión bibliográfica sobre el MERCOSUR, los países que lo integran y las principales características de las actividades agropecuarias de los mismos y; se valida un modelo econométrico presentado por Wang, Du y Zhang (2022), para descubrir la ecoeficiencia en la agricultura de los países miembros del MERCOSUR. Por medio del Análisis Envolvente de Datos (DEA) y la Función de Distancia Direccional (DDF) y la aplicación del comando teddf observamos si una Unidad de Toma de Decisiones (DMU) es ecoeficiente o no. Entonces podemos observar a la ecoeficiencia como un valor importante para las DMU, auxiliando en las estrategias trazadas para alcanzar la máxima aproximación a una frontera de eficiencia en prácticas agrícolas; los países del MERCOSUR debido a su gran participación en el mercado de materias primas se consolidan como importantes DMU referente a la ecoeficiencia regional; el modelo de Wang, Du y Zhang (2022) es validado arrojando a Brasil como el país más ecoeficiente de la región estudiada, seguido de Argentina, Paraguay y Uruguay por tanto, son ineficientes.

Palabras clave: Ecoeficiencia. DEA. DDF. MERCOSUR.

RESUMO

Diversos estudos gerados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) têm impactado as medições de ecoeficiência dentro dos setores produtivos do planeta (que afetam o meio ambiente). Esses estudos têm conseguido impactar políticas públicas e empresariais devido à sua alta relevância no desafio de garantir a sustentabilidade do planeta a longo prazo. Um dos principais desafios é a atividade agrícola, que gera N₂O, emitindo 24% do total de gases de efeito estufa. Nesse contexto, a pesquisa realiza uma revisão sistemática da literatura sobre os conceitos utilizados para nomear ecoeficiência em práticas agrícolas; uma revisão bibliográfica é realizada sobre o MERCOSUL, seus países-membros e as principais características de suas atividades agrícolas; e um modelo econométrico apresentado por Wang, Du e Zhang (2022) é validado para descobrir a ecoeficiência na agricultura nos países-membros do MERCOSUL. Utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA) e a Função Distância Direcional (DDF), e a aplicação do comando teddf, observamos se uma Unidade de Tomada de Decisão (DMU) é ecoeficiente ou não. Então podemos observar que ecoeficiência é percebida como um valor importante para as DMU, auxiliando nas estratégias elaboradas para alcançar a máxima aproximação de uma fronteira de eficiência em práticas agrícolas; os países do MERCOSUL, devido à sua grande participação no mercado de matérias-primas, consolidam-se como DMU importantes em termos de ecoeficiência regional; o modelo de Wang, Du e Zhang (2022) é validado, revelando o Brasil como o país mais ecoeficiente da região estudada, seguido pela Argentina, Paraguai e Uruguai; portanto, são ineficientes.

Palavras-chave: Ecoeficiência. DEA. DDF. MERCOSUL.

SUMÁRIO

1 INTRODUCCIÓN	11
1.1 JUSTIFICATIVA Y ADEQUENCIA AL ALCANCE DEL PROGRAMA	12
1.2 PROBLEMA	13
1.3 OBJETIVOS	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	14
1.4 PRESENTACIÓN DE LA DISERTACIÓN	14
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	16
2.1 ECOEFICIENCIA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA... ..	16
2.2 ACTIVIDAD AGRÍCOLA EN LOS PAÍSES DEL MERCOSUR	22
2.2.1 Argentina	23
2.2.2 Brasil	24
2.2.3 Paraguay	25
2.2.4 Uruguay	25
3 METODOLOGÍA	26
3.1 ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS Y FUNCIÓN DE DISTANCIA DIRECCIONAL	26
3.2 MODELO GENERAL PARA DATOS EN PANEL	27
3.3 FUENTE DE DATOS Y MODELO ECONOMETRICO	29
3.4 VARIABLES	30
3.4.1 Detalles de las variables utilizadas en la investigación (insumos o inputs)	31
3.4.1.1 Uso de la tierra (K)	31
3.4.1.2 Trabajadores (L)	31

3.4.2 Detalles de las variables utilizadas en la investigación (productos u outputs).....	32
3.4.2.1 Producción (Y)	32
3.4.2.2 Emisiones (N ₂ O).....	32
4 RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	33
4.1 PANORAMA GENERAL DE LOS DATOS POR PAÍS, AÑO Y VARIABLES... ..	33
4.2 CÁLCULO DE LA ECOEFICIENCIA: VALIDACIÓN DEL MODELO ECONOMÉTRICO	35
4.2.1 Rutina de cálculo en Stata	35
5 CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES	38
REFERENCIAS	41
ANEXOS.....	46
ANEXO 1: HOJA DE RESULTADO DE LA FUNCIÓN DE DISTANCIA DIRECCIONAL APLICADA EN STATA	46

1 INTRODUCCIÓN

Pensando en las regiones agrícolas y en la doctrina del nuevo regionalismo que consiste en un nuevo pensamiento del planeamiento regional que emerge en la década de 1980 (Mesquita, 2020) podemos ver que el contexto histórico induce a la reestructuración del Estado, aumentando la competitividad y a la fragmentación de las regiones; en ese sentido, podemos analizar la agricultura en esa doctrina desde la perspectiva de interdependencia entre agricultura e industria, denominada como agro-industrialización que, tiene una alta capacidad de generar efectos desencadenados, estrechando los lazos entre investigación, conocimiento y la dependencia de mano de obra calificada, esto requiere de nuevas formas más avanzadas de organización urbana y regional (Mesquita, 2020, p.79).

Desde la perspectiva de América Latina, observamos que ésta se encuentra en un estatus privilegiado con relación a un ciclo económico en ascensión a lo que respecta en la producción de materias primas. Los alimentos producidos por el MERCOSUR han superado expectativas debido a su gran capacidad de excedente (Manrique, 2022).

Observamos que en los procesos productivos agrícolas las principales fuentes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero GEI directas o indirectas son las emisiones de Óxido Nitroso (N₂O) de los suelos, por las aplicaciones de fertilizantes químicos, residuos biológicos de animales de pastaje y la producción de Metano (CH₄) por rumiantes y cultivos de arroz. Lo que hace que se tengan altos índices de contaminación. Esta situación requiere de respuestas inmediatas por parte de los tomadores de decisiones presentes en el campo del planeamiento urbano y regional en los niveles locales, nacionales y global que apunten a disminuir y/o mitigar el N₂O (IPCC, 2019).

De lo anterior, podemos observar a la ecoeficiencia como un instrumento capaz de medir la relación del trípode de la sostenibilidad que tiene como base factores económicos, ambientales y sociales; evaluando la sostenibilidad y el uso eficiente de los recursos naturales en diversos sectores de la economía que gira en torno de la producción de un bien o servicio.

La evaluación de la ecoeficiencia permite mejores condiciones en el proceso de toma de decisión, en la introducción de nuevas políticas e inversiones, así como en la apuesta por innovaciones tecnológicas en la búsqueda de creación de valor sostenible (Dalcero y Ferreira, 2022, p.3).

En presente estudio seleccionaremos datos de los 4 miembros activos del Mercosur: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay y consideraremos las informaciones correspondientes en un periodo de 5 años (2018, 2019, 2020, 2021 y 2022).

Para tal, seleccionamos como variables de insumos o *inputs* Uso de la tierra (K), Trabajadores (L), como producto deseado u *output desirable* Producción (Y) y como salida indeseada u *output undesirable* Emisiones de N₂O (N₂O).

Usaremos el programa estadístico Stata donde es posible medir la eficiencia técnica radial de una determinada actividad utilizando el comando DEA asociada a varios comandos que posibilitan calcular también la eficiencia.

Aplicaremos un modelo que emplea un comando para obtener la distancia de una Unidad de Toma de Decisiones (DMU) a la frontera de ecoeficiencia; el comando `teddf` ocupado en Stata en la Función de Distancia Direccional, conforme Wang, Du y Zhang (2022) los valores de la Función de Distancia Direccional representados por D_v determinan que tan cerca están las DMU de la ecoeficiencia de una determinada actividad por medio del modelo propuesto, en ese sentido la variable D_v almacena los valores de la función de distancia direccional no radial de las DMU.

1.1 JUSTIFICATIVA Y ADERENCIA AL ALCANCE DEL PROGRAMA

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos (IPCC, 2019) la seguridad alimentaria es directamente afectada por los cambio climáticos, en países desarrollados y en vía de desarrollo los cambios climáticos desafían fuertemente al sector agrícola porque afectan directamente a las culturas y los sistemas pecuarios; no obstante, la agricultura, silvicultura y otras fuentes contribuyen en un 24% de las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que resulta en un factor significativo que contribuye para el cambio climático.

La actividad agropecuaria todavía representa en la actualidad un papel decisivo en la economía de la región, dejando una impronta determinante en las sociedades y espacios rurales. De ahí que sea fundamental estudiar la utilización de la tierra, la estructura de las explotaciones, la ocupación y la productividad agrarias, los medios de producción, los aprovechamientos agrícolas y ganaderos más relevantes y el comercio exterior agroalimentario.

Para tal, realizamos una revisión sistemática de la literatura sobre los conceptos utilizados para denominar la ecoeficiencia en prácticas agrícolas del MERCOSUR; conducimos una revisión bibliográfica sobre el MERCOSUR, los países que lo integran y las principales características de las actividades agropecuarias de los mismos y; validamos el modelo econométrico presentado por Wang, Du y Zhang (2022), para descubrir la ecoeficiencia en la agricultura de los países miembros del MERCOSUR.

1.2 PROBLEMA

América Latina se encuentra en un estatus privilegiado con relación a un ciclo económico en ascensión a lo que respecta en la producción de materias primas, los alimentos producidos por el MERCOSUR han superado expectativas debido a su gran capacidad excedente (Manrique, 2022).

El MERCOSUR se caracteriza como una región agroexportadora siendo la más importante del mundo, se insiere en los mercados como exportador de productos agropecuarios y derivados ya que, los países miembros son privilegiados con una enorme base de recursos naturales y con aptitudes agroecológicas (De Villalobos, 2015).

Recordando que para el IPCC (2019), las principales fuentes de emisiones de GEI directas o indirectas son las emisiones de Óxido Nitroso (N₂O) de los suelos, aplicaciones de fertilizantes químicos, residuos biológicos de animales de pastaje y la producción de Metano (CH₄) por rumiantes y cultivos de arroz, esta situación requiere de respuestas inmediatas por parte de los tomadores de decisiones presentes en el campo del planeamiento urbano y regional en los niveles locales, nacionales y global.

Vemos por tanto, que uno de los mayores problemas presentados a la hora de generar políticas públicas es la falta de información comparativa entre los países que conforman bloques económicos, en este sentido el MERCOSUR tiene la particularidad de englobar a países que no tienen niveles igualitarios en algunos productos, en específico, el agro no es igual en 4 países, toda vez que un país pequeño como Paraguay podría ser muy eficiente en productividad y otro muy grande como Argentina podría no ser muy eficiente productivamente.

Lo anterior nos lleva a investigar si existen algunos elementos básicos que nos ayuden a demostrar que existirían factores que puedan ser comparados y que nos entreguen un nivel de eficiencia productiva en el sector agrícola.

De lo anterior, podemos afirmar que en el “estado del arte” no existen fundamentos sobre los factores exógenos que influyen la ecoeficiencia, uno de los mayores problemas en el campo de la gestión de residuos agrícolas es la falta de mensuración o hasta mismo de concordancia en los métodos de evaluación, de esta forma esta investigación remite a la falta de instrumentos y/o modelos de medición de la ecoeficiencia para obtener informaciones más precisas sobre la eficiencia ambiental y determinar los factores que tornan posibles los estudios de ecoeficiencia.

En sí, la ecoeficiencia es un instrumento capaz de medir la relación del trípode de la sostenibilidad que tiene como base factores económicos, ambientales y sociales; evaluando la sostenibilidad y el uso eficiente de los recursos naturales en diversos sectores de la economía que gira en torno de la producción de un bien o servicio, también ayuda al desarrollo sostenible de las organizaciones por medio de la agregación de valor de sus actividades, evaluando el impacto en los funcionarios, clientes, proveedores, medio ambiente y comunidad (Dalcerro y Ferreira, 2022).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Analizar factores comunes a través de un modelo econométrico, validando el modelo de Wang, Du y Zhang (2022), que determinará la gestión ecoeficiente de la producción agrícola de los países miembros activos del MERCOSUR.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión sistemática de la literatura sobre los conceptos utilizados para denominar la ecoeficiencia en prácticas agrícolas;
- Conducir una revisión bibliográfica sobre el MERCOSUR, los países que lo integran y las principales características de las actividades agropecuarias de los mismos;
- Validar el modelo econométrico presentado por Wang, Du y Zhang (2022), para descubrir la ecoeficiencia en la agricultura de los países miembros del Mercosur.

1.4 PRESENTACIÓN DE LA DISERTACIÓN

Esta disertación cuenta con cinco tópicos principales más las referencias. El tópico 1,

trabaja sobre las informaciones introductorias del trabajo presentando una breve introducción a la temática abordada, la justificativa y adherencia al alcance del programa, el problema, los objetivos (general y específicos) y lo que estamos leyendo ahora, una presentación de la disertación.

El tópico 2, trae los fundamentos teóricos, presentando una revisión sistemática de la literatura sobre ecoeficiencia y una revisión breve sobre la actividad agrícola de los países del MERCOSUR. En el tópico 3, fueron presentadas las metodologías utilizadas para el trabajo, en él están descritos el Análisis Envolventes de Datos y la Función de Distancias Direccional, el modelo general para Datos en Panel, la fuente de datos y el modelo econométrico y una explicación bien detallada de cómo fueron obtenidas cada una de las variables utilizadas para los cálculos.

En el tópico 4, se abordan los resultados y discusiones, presentando el panorama general de los datos por país, año y variables; y el cálculo de la ecoeficiencia y validación del modelo econométrico utilizado. El tópico 5 presenta las consideraciones finales. Al final, todas las referencias consultadas para este estudio están listadas.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 ECOEFICIENCIA: UNA REVEISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA.

Proveniente del concepto de ecología, el término ecoeficiencia fue presentado a la literatura académica por los autores Schaltegger y Sturm (1990) y Schaltegger y Burritt, (2000), pero fue por medio de Schmidheiny (1992) que éste se popularizó en las agendas globales empresariales (Eljach y Castro, 2020) en este sentido, podemos decir que la ecoeficiencia es una propuesta fundamentalmente empresarial. Latencia económica y ecológica, más conocida como ecoeficiencia, se origina en la preocupación en tornar la idea de sostenibilidad más tangible y aplicable como meta productiva (Gama, 2022, p.20).

La ecoeficiencia es un instrumento capaz de medir la relación del trípede de la sostenibilidad que tiene como base factores económicos, ambientales y sociales; evaluando la sostenibilidad y el uso eficiente de los recursos naturales en diversos sectores de la economía que gira en torno de la producción de un bien o servicio, también ayuda al desarrollo sostenible de las organizaciones por medio de la agregación de valor de sus actividades, evaluando el impacto en los funcionarios, clientes, proveedores, medio ambiente y comunidad (Dalcero y Ferreira, 2022).

Como principal efecto de la ecoeficiencia tenemos el uso responsable de los recursos estatales, produciendo más con menos recursos, reduciendo el impacto medioambiental así contribuyendo de manera directa con el cuidado del medio ambiente (Esquivel y Valencia, 2022) varios estudios señalan una relación directa entre la ecoeficiencia y los efectos económicos generados a las empresas, ayudando así en la toma de decisiones sobre las estrategias institucionales que repercuten de forma directa en los factores económicos, ambientales y sociales.

Por otra parte, existe una tendencia mundial de estudiar el papel de las universidades en la sociedad, en ese sentido, Coacalla *et al.* (2022) enfatiza el estudio sobre cuestionamientos del papel de las universidades frente a la responsabilidad social, especialmente de la enseñanza acerca de la ecoeficiencia a partir del pensamiento sistémico como estrategia pedagógica en la enseñanza de esta.

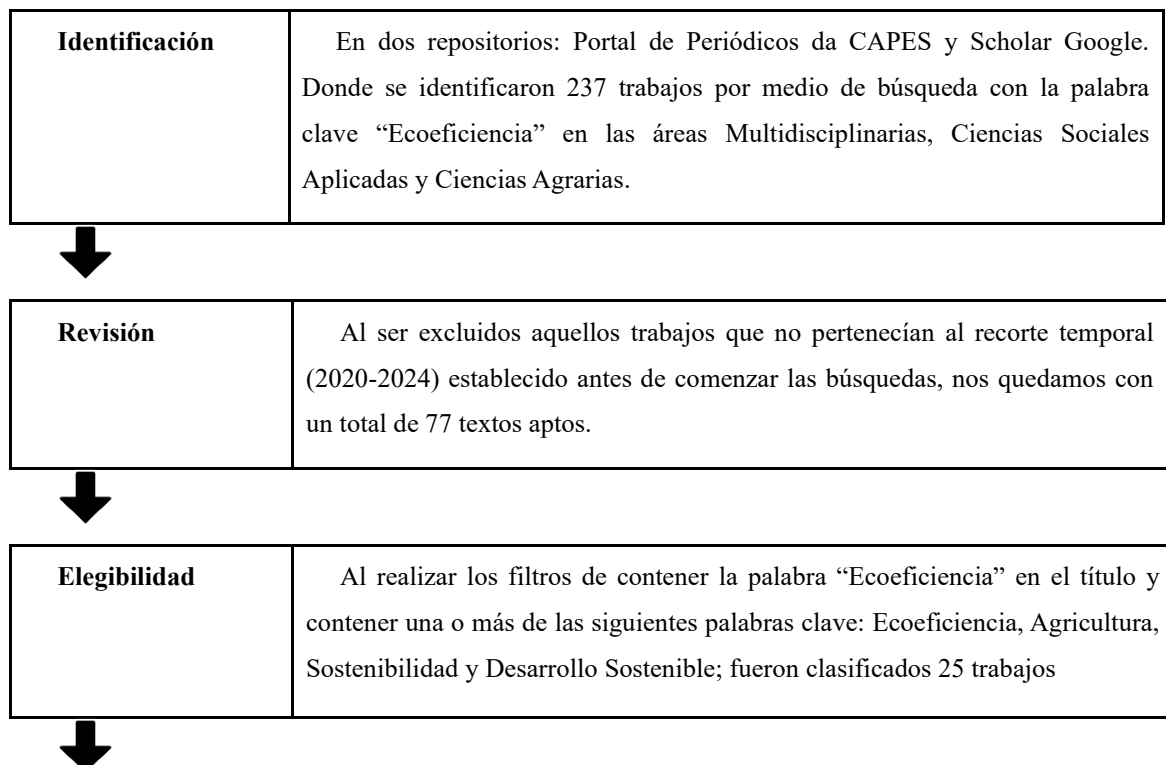
Desde un punto de vista empresarial, la ecoeficiencia es una alternativa para alcanzar posicionamiento en el mercado llevando en cuenta los cambios climáticos como aceleradores de acciones con foco en la sostenibilidad (Pitre, de la Ossa y Hernández, 2020). En el caso de la ecoeficiencia en la agricultura, esta es concebida como la capacidad que un sistema de uso

de tierra tiene de ser sostenible en términos económicos, ambientales y sociales (Pinzón y Ramírez, 2021).

La colecta de datos fue direccionada utilizando la palabra clave “Ecoeficiencia”, limitándose en estudios centralizados en América o Latinoamérica; áreas de estudios multidisciplinarios, Ciencias Sociales Aplicadas y Ciencias Agrarias. Además, los textos que cumplan con estos filtros también deben cumplir con la condición de existencia de la palabra “Ecoeficiencia” en el título y contener las siguientes palabras clave: Ecoeficiencia, Agricultura, Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible; siendo seleccionados los textos que contenían una o más de estas palabras clave.

Revisando la literatura académica actual existente sobre ecoeficiencia de nuestro campo de estudio en los repositorios del Portal de Periódicos CAPES y Scholar Google nos deparamos inicialmente con 237 trabajos entre artículos, revisiones y disertaciones, los mismos al pasar por el filtro del recorte temporal (material publicado entre los años 2020 y 2024) restaron 77 textos, siguiendo con las orientaciones del método prisma (Hutton *et al.*, 2016) tuvimos como saldo un total de 15 artículos y 2 disertaciones de maestría una vez aplicados los filtros de “contener la palabra ecoeficiencia en el título” y “tener una o más palabras-claves escogidas como criterio”; el método prisma está representado abajo en la Figura 1:

Figura 1: Proceso de revisión PRISMA



Inclusión	De los 25 trabajos hasta aquí filtrados, fueron clasificados 15 artículos y 2 disertaciones de maestría, totalizando 17 trabajos que se presentaban como aptos para cumplir con los objetivos de esta revisión.
------------------	---

Fuente: Elaboración propia.

La identificación de autores, año de publicación, metodología utilizada para estudiar la ecoeficiencia, el tipo de enfoque de los trabajos seleccionados y los repositorios de origen son mostrados en el Cuadro 1 a seguir:

Cuadro 1: Identificación de la literatura seleccionada por autor, año, enfoque y repositorio.

Autor(es)	Metodología	Enfoque	Repositorio
Palomares <i>et al.</i> (2020)	Revisión bibliográfica y aplicación de cuestionarios.	Cualitativo	Portal de Periódicos da CAPES
Silva <i>et al.</i> (2021)	DEA en dos etapas e Indicador espacial de Moran	Cuantitativo	Scholar Google
Esquivel y Valencia (2022)	Revisión Sistemática de la Literatura	Cualitativo	Portal de Periódicos da CAPES
Pinzón y Ramírez (2021)	Modelo de Programación no lineal-GLP	Cualitativo y Cuantitativo.	Portal de Periódicos da CAPES
Pitre, de la Ossa y Palma (2020)	Descriptiva e exploratoria, no experimental y transversal	Cuantitativo	Portal de Periódicos da CAPES
Coacalla (2022)	Revisión bibliográfica, alcance exploratorio.	Cualitativo	Portal de Periódicos da CAPES
Inga <i>et al.</i> (2021)	Guía de Ecoeficiencia para Instituciones del sector público	Cualitativo y Cuantitativo.	Portal de Periódicos da CAPES
Ponce y Colamarco (2020)	Revisión bibliográfica, alcance exploratorio.	Cualitativo	Portal de Periódicos da CAPES
Moreira y de Souza (2020)	Levantamiento y estadística descriptiva	Cuantitativo	Portal de Periódicos da CAPES
Inga <i>et al.</i> (2020)	Minam (2020), Método Delphi y análisis estadístico	Cuantitativo	Portal de Periódicos da CAPES
Dalcerro y Ferreira (2022)	Análisis Envolvente de Datos (DEA)	Cualitativo y Cuantitativo.	Portal de Periódicos da CAPES
Marques (2021)	Evaluación de ecoeficiencia en Sistemas de Tratamiento de Agua propuesta por Achón (2008)	Cualitativo y Cuantitativo.	Portal de Periódicos da CAPES

Eljach y Castro (2020)	Análisis Documental	Cualitativo	Portal de Periódicos da CAPES
Delgado <i>et al.</i> (2020)	Cálculo de la huella hídrica con el software CROPWAT	Cuantitativo	Portal de Periódicos da CAPES
Maciel, Maciel y Gomes (2020)	Envolvente con Libre Disposición.	Cuantitativo	Scholar Google
Silva (2021)	Análisis Envolverte de Datos (DEA)	Cuantitativo	Scholar Google
Gama (2022)	Análisis Envolverte de Datos basada em Slack (DEA-SBM) e índice de productividad verde Malmquist-Luenberger	Cuantitativo	Scholar Google

Fuente: Elaboración propia.

Podemos destacar el enfoque cuantitativos en los trabajos seleccionados pues, la ecoeficiencia es un factor mensurable que envuelve varios tipos de métodos que auxilian a la medición de la misma, una utilidad de esta mensuración por ejemplo, partiendo de líneas trazadas de ecoeficiencia se puede tener una noción de las debilidades y oportunidades en instituciones, la mismas pueden ser obtenidas por medio de los siguientes datos: energía consumida, combustible utilizado, materiales de oficina necesarios, generación de residuos, entre otros (Inga *et al.*, 2021). La evaluación de la ecoeficiencia permite mejores condiciones en el proceso de toma de decisión, en la introducción de nuevas políticas e inversiones, así como en la apuesta por innovaciones tecnológicas en la búsqueda de creación de valor sostenible (Dalcero y Ferreira, 2022, p.3).

Los indicadores que cada organización establece como parámetro de mensuración de la ecoeficiencia de sus actividades son herramientas importantes para realizar el diagnóstico o medición. El diagnóstico permite conocer la situación ecoeficiente dentro de una determinada empresa o institución ya que, establece los indicadores e identifica oportunidades de mejoras que dan espacio al desarrollo de estrategias para hacer uso eficiente de los recursos disponibles (Inga *et al.*, 2021).

Partiendo de todas las reflexiones hasta aquí presentadas, es notorio que no existe un concepto específico para la ecoeficiencia, cada área de conocimiento, empresa o autor la conceptualiza dependiendo de su área de formación, ideales, actividades evaluadas y formas de utilización de los recursos además de la relación sistémica del evaluador con la complejidad estudiada. Paralelos textos clasificados en esta revisión, presentamos los

siguientes conceptos utilizados por los autores dependiendo del enfoque o del área de estudio donde la ecoeficiencia es analizada y están representados en el Cuadro 2 a seguir:

Cuadro 2: Conceptos de ecoeficiencia por autor(es).

Autor(es)	Concepto de Ecoeficiencia
Palomares <i>et al.</i> (2020)	Es la capacidad y calidad de la tierra para ser económicamente rentable y ambientalmente sostenible.
Silva <i>et al.</i> (2021)	Introducción de una perspectiva de desarrollo sostenible en la interfase de la eficiencia ecológica en los análisis tradicionales de eficiencia económica y productividad.
Esquivel y Valencia (2022)	Estrategia de Gestión Empresarial que busca garantizar la producción de bienes y servicios reduciendo el impacto ambiental.
Pinzón y Ramírez (2021)	Cantidad o valor económico de un producto por su influencia ambiental que identifica la sostenibilidad de un sistema en términos socioeconómicos y ambientales.
Pitre, de la Ossa y Palma (2020)	Una práctica que intenta sostener el valor ecológico de las empresas al mismo tiempo en que potencializa el crecimiento económico en el mercado
Coacalla (2022)	Una ciencia dentro de un sistema complejo que procura incrementar su rentabilidad por medio del uso eficiente de los recursos con responsabilidad ambiental social.
Inga <i>et al.</i> (2021)	Es una estrategia que permite mejorar el performance ambiental de las instituciones.
Ponce y Colamarco (2020)	Es la relación entre la búsqueda de maximizar el beneficio económico y el cuidado del medio ambiente.
Moreira y de Souza (2020)	Es una ligación entre la producción de bienes y servicios y la responsabilidad social.
Inga <i>et al.</i> (2020)	Es una estrategia para optimización del uso de energía, insumos y procesos de generación de bienes y servicios em general.
Dalcero y Ferreira (2022)	Uno de los instrumentos que mide la relación entre los tres aspectos de la sostenibilidad (económicos, ambientales y sociales).
Marques (2021)	Es la entrega de bienes y servicios con precios competitivos que satisfacen las necesidades humanas y traen calidad de vida.
Eljach y Castro (2020)	Es una propuesta fundamentalmente empresarial equivalente a la producción limpia y asociada a las políticas públicas y cuestiones de contaminación.

Delgado <i>et al.</i> (2020)	Es el valor del producto o servicio representado por la cantidad de bienes producidos o entregados.
Maciel, Maciel y Gomes (2020)	Es una estrategia de Gestión para promover la sostenibilidad
Silva (2021)	Es la razón entre el valor económico adicionado y un índice agregado de las presiones ambientales cometidas contra el medio ambiente.
Gama (2022)	Es la eficiencia económica y ecológica.

Fuente: Elaboración propia.

La ecoeficiencia es un valor mensurable pero no existe una fórmula o un modelo único capaz de medirla, cada organización establece su forma de medir si su actividad es ecoeficiente o no. Esta mensuración irá depender del funcionamiento y uso de los recursos existente en cada empresa o institución partiendo de cada uno de sus procesos que utilizan entradas y generan salidas.

Así también es con la agricultura, en cada país, la unidad de producción o empresas existente en ellos decidirán de qué forma medir sus procesos producción valiéndose muchas veces de valores muy específicos que muchas veces no están publicitados estos valores son internos y cada organización sabe qué gasta, cuánto gasta, que salida deseable obtienen y en qué medida, así como también las salidas indeseables resultantes de sus procesos de producción.

Por otra parte, es indiscutible la importancia de mensurar la ecoeficiencia de las actividades interdisciplinarias de los seres humanos, mismo que no exista una fórmula universal capaz de medirla, cada Unidad de Toma de Decisiones (DMU) escoge la mejor forma de medir la eficiencia de sus actividades desde sus realidades únicas o específicas. Las mediciones de ecoeficiencia han ganado relevancia en los ambientes políticos, académicos y empresariales; en el ambiente político, por ejemplo, significa un dato importante para enfrentar el desafío de asegurar la sostenibilidad a largo plazo y mejorar los diseños de las políticas ambientales (Picazo, Beltrán y Gómez, 2012).

Por medio de las lecturas realizadas para introducimos al concepto de ecoeficiencia, percibimos una amplia gama de perspectivas interesantes relacionadas a la ecoeficiencia que no son meramente empresariales una vez que, los cambios climáticos y el calentamiento global agregan la necesidad y obligatoriedad de que las empresas, organizaciones o instituciones adopten prácticas ecoeficientes en sus procesos sea cual fuera el ramo de producción de bienes o servicios.

2.2 ACTIVIDAD AGRÍCOLA EN LOS PAÍSES DEL MERCOSUR

Establecido inicialmente por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay; el Mercado Común del Sur (MERCOSUR) es un proceso de integración regional abierto y dinámico cuyo objetivo principal es propiciar un espacio de oportunidades comerciales y de captación de inversiones por medio de la integración competitiva de las economías nacionales al mercado internacional (MERCOSUR, 2025). El documento fundador del MERCOSUR es el tratado de Asunción, firmado por los jefes de Estados fundadores el 26 de marzo de 1991 (Mariano y Menezes, 2021).

Este proceso de integración es fruto del resurgimiento del regionalismo que tuvo lugar en la década de 1980 donde fueron observados cambios políticos y económicos que condujeron a los Estados a valorizar las oportunidades existentes en la proximidad geográfica como estrategia de inserción a finales del siglo XX (Fuccille, Luciano y Bressan, 2021) tal resurgimiento, puede ser explicado por el creciente nivel de interdependencia que aumentó la demanda por cooperación internacional y por la creación de instituciones que visen por solucionar problemas de acción colectiva.

A partir de los años 2000, en el contexto de la crisis hegemónica neoliberal y con una coyuntura externa favorable que estaba relacionada a la retomada del crecimiento global y a la ascensión de China como potencia mundial en los ámbitos económico y político, el surgimiento de nuevos gobiernos progresistas y populares en América del Sur marca un cambio en la concepción de integración regional sobre una perspectiva multidimensional (Granato, 2021) esta nueva concepción es diferente a la pautada por el regionalismo abierto ya que la misma propone una organización ampliada de coordinaciones de los Estados en el ámbito de las políticas públicas que, además de ser meramente económicas y comerciales sean también de orden productiva, política y social.

Dos pilares fundamentales fueron promovidos por el MERCOSUR desde su creación, los principios de democracia y de desarrollo económico, sumados a éstos tenemos diferentes acuerdos en materia migratoria, laboral, cultural, social, entre tantos otros (MERCOSUR, 2025).

Forman parte del MERCOSUR, Argentina, Bolivia (en proceso de adhesión), Brasil, Paraguay, Uruguay y Venezuela (en estado de suspensión); entre los estados asociados tenemos a Chile, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú y Surinam. La suspensión de Venezuela en todos los derechos y obligaciones de su condición de Estado parte se debe a lo dispuesto en

el artículo 4 del protocolo de Ushuaia sobre el quiebre de la democracia en los Estados parte y en lo dispuesto en el artículo 5 que determina la suspensión del Estado ante infracción al artículo anterior. El protocolo de adhesión de Bolivia fue firmado por todos los Estados parte en 2015 pero por unas cuestiones de plazo el país aún está legalmente dentro del periodo de adhesión teniendo apenas derecho de voz y no de voto (MERCOSUR, 2025)

Caracterizada como una región agroexportadora más importantes del mundo, el MERCOSUR se insiere en los mercados como exportador de productos agropecuarios y derivados ya que, los países miembros son privilegiados con una enorme base de recursos naturales y con aptitudes agroecológicas (De Villalobos, 2015).

América Latina se encuentra en un estatus privilegiado con relación a un ciclo económico en ascensión a lo que respecta en la producción de materias primas, los alimentos producidos por el MERCOSUR han superado expectativas debido a su gran capacidad excedente (Manrique, 2022). El Mercosur, Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay y su asociada Bolivia, se ha convertido en el primer exportador mundial de soja; este reconocimiento por su vez, general fuertes impactos ambientales con el avance de los cultivos sobre las áreas naturales y la artificialización de las áreas rurales (Lapitz, Evia y Gudynas, 2004).

El sector agrícola es un sector de gran importancia para los países que integran el MERCOSUR ya que representa un peso importante para el PIB de cada país, para Brasil este sector forma 4,4% del PIB, no obstante, es más elevado para los demás países del bloque para Argentina y Uruguay representa el 6% y para Paraguay representa el 11% con esto queda evidente el papel fundamental de los productos de base primaria para estos países miembros que tradicionalmente son competitivos en el sector agrícola y ganadero (Arce, 2020).

A continuación, serán presentadas brevemente las principales características e informaciones relevantes del sector agrícola de los países del MERCOSUR, en este estudio fueron seleccionados datos de los 4 miembros activos del Mercosur: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.

2.2.1 Argentina

Según el Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento (MAPA) del Brasil, Argentina es el segundo mayor país de América del Sur en términos de extensión territorial y el tercero en términos de población. Este país se ha convertido en unos de los principales socios comerciales agrícolas del Brasil, donde ambos países representan el 63% del territorio,

el 60% de la población y el 62% del Producto Interno Bruto (PIB) de la región (MAPA, 2024).

Argentina, en términos globales, es uno de los cinco mayores productores de soja, maíz, semilla de girasol, limón, pera y yerba mate; referente a la producción de cebada, uva, alcachofa, tabaco y algodón ocupa el décimo lugar; ya en la producción de trigo, caña de azúcar, sorgo y toronja su posición en el ranquin es la décimo quinta (MAPA, 2024).

Diversos son los factores que contribuyen para que el agronegocio argentino sea uno de los más importantes del mundo, entre ellos podemos citar: condiciones climáticas y geográficas favorables, tradición agrícola, diversidad de productos, competitividad en el mercado internacional, inversiones en tecnologías, entre otros (AGRISHOW, 2024). Cabe destacar que Argentina, a nivel global, es históricamente un gran proveedor de materias primas y alimentos de origen animal y vegetal, ocupando el décimo primer lugar y atendiendo a más del 3% de la demanda global (MAPA, 2022).

Las Cadenas Agroindustriales de Argentina representan el 10% del PIB del país, dos de cada 10 empleos privados fueron generados por las Cadenas Agroindustriales, representando el 22% de los empleos privados del país (MAPA, 2022).

2.2.2 Brasil

La agricultura es una de las principales actividades desarrolladas en el Brasil que se consolida como uno de los mayores productores y exportadores agrícolas del mundo (BRASIL ESCOLA, 2025), representa un cuarto del PIB nacional que continúa creciendo, se desarrolla sobre una estructura agraria concentrada y desigual en diversas modalidades como tradicional, moderna, familiar, patronal y orgánica.

Según el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE, 2025) el ranquin de los valores de producción de la agricultura brasileña, en el año de 2023, de mayor a menor estuvo organizado como sigue: en primer lugar, mayor productor de soja, seguido de caña de azúcar, maíz, café, algodón, naranja, mandioca, arroz, banana y tomate. Cabe destacar, que la soja tuvo el mayor valor de producción y la caña de azúcar fue la mayor cantidad producida ese año.

Brasil fue el segundo mayor exportador mundial de productos agropecuarios, perdiendo el primer lugar para los Estados Unidos (CNA, 2025) el sector absorbe 1 de cada 3 empleos brasileños, hasta el cuarto trimestre del año de 2024 el 26% correspondiente a 28,2 millones de los empleos correspondían a este sector; el 28,2% ocupados en actividades

agropecuarias primarias, el 36% en los servicios agrarios, el 16,8% en la agroindustria, el 17,9% en el autoconsumo y el 1,1 restante en el sector de insumos.

2.2.3 Paraguay

Según la Unión de Gremios de la Producción (UGP, 2025) los principales productos que el Paraguay produce y exporta son: animales vivos, tomate, mandioca, legumbres, resto de hortalizas, nueces de macadamia, bananas, piñas, aguacates, guayabas, mangos, cítricos, trigo, maíz, arroz, sorgo, soja, girasol, maní, Stevia, semillas de nabo, de sésamo y de ricino, tabaco, carbón vegetal y fibras de algodón.

Las principales culturas del Paraguay son la soja, el maíz y el trigo, el país se divide en dos principales regiones, la Región Este que representa el 97% del área agrícola del Paraguay y la Región Oeste o Chaco que representa el 3% (AGRIBRASILIS, 2023). La carne de res y la soja representa un tercio del PIB del país y el 70% de sus exportaciones (Manrique, 2022).

2.2.4 Uruguay

Más del 90% de la extensión territorial del Uruguay es ocupada con actividad agropecuaria, en el año 2023 esta actividad tuvo el 8% de participación en el PIB del país (Uruguay XXI, 2024) esta actividad además de generar ingresos favorece a la seguridad alimentaria y a la oferta de empleos en las zonas rurales.

El sector agropecuario uruguayo es tradicional y ligado a su identidad, actualmente esta actividad contribuye más del 10% del PIB (Universidad ORT Uruguay, 2025) las condiciones climáticas del país y su centralizada ocupación demográfica son propicios para el buen desarrollo de la actividad agrícola en sus dos tipos, la actividad agrícola de secano (que utiliza apenas agua de lluvias para desarrollar las culturas) y la agricultura de regadío (que utiliza sistemas de irrigación artificiales para el desarrollo de las culturas).

Los principales productos de agricultura de secano en el Uruguay son el trigo, la cebada, el maíz, el sorgo, la soja y otros oleaginosos (Universidad ORT Uruguay, 2025) en la agricultura de regadío tenemos al arroz y la caña de azúcar.

3 METODOLOGIA

3.1 ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS Y FUNCIÓN DE DISTANCIA DIRECCIONAL.

El Análisis Envolvente de Datos (DEA), desarrollada por Charnes *et al.* (1978) es un modelo no paramétrico que evalúa la eficiencia relativa de las DMUs (Unidades de Toma de Decisiones) a través de la integración de entradas y salidas (Dalcero y Ferreira, 2022).

Considerando los avances que ocurrieron en el desarrollo de la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA) y la Función de Distancia Direccional (DDF) direccionamos nuestra atención en la medición de salidas indeseadas (*Output undesirable*) una vez que ellas resultan de la producción y afectan directamente cualquier medida; en función de las restricciones ambientales, la literatura nos lleva a trabajar las variables como no paramétricas (Picazo-Tadeo, *et al.*, 2012).

Debemos considerar que existen maneras básicas de lidiar con el output *undesirable* en la metodología no paramétrica, siendo cinco maneras en DEA y una en DDF. Para el caso del DEA Seiford y Zhu (2002, p.18) Proponen:

1. Ignorar el output *undesirable* (en los cálculos, solamente las salidas deseadas (*output desirable*) serán consideradas junto con las entradas que son evaluadas);
2. Insertar el output *undesirable* en los cálculos (considerándolas como salidas normales);
3. Considere el output *undesirable* como entradas (*input*) (a pesar de que Seiford y Zhu (2002) señalen de que este procedimiento no representa el verdadero proceso de producción);
4. Evalúe los inputs apenas con el output *undesirable* (esto representa que en los análisis los resultados deben ser interpretados de forma inversa, una vez que la DMU que obtenga la puntuación igual a 1,0 será la más eficiente en la generación de *output undesirable*);
5. Transformar los valores del output *undesirable*, elevados a la potencia (-1) partiendo de los valores negativos para los positivos (en este sentido las variables adaptadas son consideradas como *outputs normales*).

Como segunda opción tenemos la DDF utilizado por Chung *et al.* (1997), Färe y Grosskopf (2000), Picazo *et al.* (2005) entre otros, la DDF es un método no paramétrico como el DEA, su diferencia y ventaja es que ella es más flexible porque permite que el investigador

busque la frontera de eficiencia moviendo los *outputs desirables*, los *outputs undesirable* y los *inputs* sólo de una vez para alcanzar la frontera de eficiencia.

La diferencia entre la DDF y el DEA es que éste último deja mover apenas una variable sea ella *output* o *input, desirable or undesirable*, dependiendo de la orientación que fue establecida. En tal sentido, la DDF se muestra como el método más adecuado pues, en nuestra opinión, el problema básico de la contaminación es que, en la salida de los procesos, generamos resultados deseados e indeseados y precisamos direccionar nuestro estudio para maximizar los *outputs desirable* y minimizar los *outputs undesirable* (Gómez, 2023).

Como ejemplos de trabajos que aplicaron el DEA y la DDF a lo que respecta sobre la problemática de residuos podemos encontrar a Courcelle *et al.* (1998), Dyckhoff y Allen (2001), Zofío y Prieto (2001), Bevilacqua y Braglia (2002), Prior y Rovira (2005). La base teórica de la DDF es presentada por Luenberger (1992) y por Chung *et al.* (1997), (Díaz, Didoet y Dodd, 2017, p.8).

3.2 MODELO GENERAL PARA DATOS EN PANEL.

Un modelo de datos en panel es una técnica econométrica utilizada para analizar datos que varían en dos dimensiones: el tiempo y las unidades observadas (como individuos, empresas o países). Este tipo de modelo combina características de datos transversales y de series temporales, lo que permite capturar efectos individuales y tendencias a lo largo del tiempo según Gómez (2023):

Existen varios enfoques dentro de los modelos de datos en panel, entre ellos tenemos: efectos fijos, que capturan las diferencias individuales invariables en el tiempo y efectos aleatorios, que consideran que las diferencias individuales son aleatorias y no correlacionadas con las variables explicativas (ARELLANO, 2003).

El Modelo de Efectos Fijos (*Fixed effects model*) denominado también como modelo de mínimos cuadrados con variable indicadora (*Least squares dummy variable*), expresado por Gómez (2023) de la siguiente forma:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \dots + \beta_k x_{k,it} + u_{it} \quad (3.1)$$

Donde: $(i = 1, 2, 13, \dots, N)$ y $(t = 1, 2, 13, \dots, T)$.

En la cual tenemos a y_i como la variable dependiente, x_{ki} como las variables independientes, β_k son los coeficientes de regresión, α es el intercepto común y u_i es el término de error.

Observando la ecuación 3.1 queda evidente el término de intercepto, debido a que el modelo de efectos fijos varía entre unidades de (α_i) , esta característica permite contemplar la heterogeneidad existente entre las unidades. Para este modelo, es posible también identificar un término λ , el cual captura la diferencia entre los periodos de tiempo. No obstante, en paneles con $N > T$, es más conveniente incluir apenas el componente α_i , los parámetros del modelo de efectos fijos son estimados por medio de mínimos cuadrados ordinarios.

Por otro lado, Gómez (2023) explica el Modelo de Efectos Aleatorios (*random effects model*), denominado también como modelo de componentes de variancia, es aparentemente semejante al modelo de efectos fijos mientras incorpora una intercepción que varía entre unidades transversales, la diferencia se encuentra en que el modelo de efectos aleatorios asume que la intercepción sigue una distribución de probabilidad, o sea, es una variable aleatoria, definido como:

$$y_{it} = \beta_1 x_{1,it} + \beta_2 x_{2,it} + \dots + \beta_k x_{k,it} + \eta_{it} \quad (3.2)$$

Donde η_{it} se desdobra en:

$$\eta_{it} = \alpha_i + u_{it} \quad (3.3)$$

Donde el intercepto α_i es similar e independientemente distribuido con media de cero y variancia constante y es independiente del error u_{it} .

Si los parámetros del modelo de efectos aleatorios fueran estimados por mínimos cuadrados ordinarios, eles serán transversales, pero no eficientes, por tal motivo se recurre al método de mínimos cuadrados generalizados para alcanzar eficiencia (ARELLANO, 2003).

¿Entre los de efectos fijos y los de efectos aleatorios cuál modelo debe ser escogido? Si bien en paneles grandes no sean notorias las diferencias entre modelos fijos y aleatorios, en paneles cortos es decidido de acuerdo con varios criterios establecidos por los investigadores (Gómez, 2023). Nuestro caso trabaja con efecto fijo por que se requiere minimizar la tecnología que genera lo indeseable, en nuestro estudio es el aumento del N2O.

3.3 FUENTES DE DATOS Y MODELO ECONOMETRICO.

En investigaciones que analizaron la ecoeficiencia en la agricultura y los factores que en ella influyen (You e Zhang, 2016) podemos observar la importancia de analizar variables como: el área per cápita (FA), el ingreso per cápita (IC), la población por vivienda (PH) y el coeficiente de carga de la población o densidad poblacional (PB) todos han sido estadísticamente significativos sobre la eficiencia total de la producción agrícola; también es posible notar la eficiencia ecológica regional en China, uno de los países miembros del BRIC (Brasil, Rusia, India y China).

Para esta investigación, utilizaremos un modelo econométrico propuesto por Wang, Du y Zhang (2022), para analizar la ecoeficiencia en la agricultura de los países miembros del Mercosur que se encuentran activos (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay).

El modelo presentado en el trabajo de Wang, Du y Zhang (2022) trata sobre un conjunto de datos de insumo-producto de las provincias de China entre los años 2013 y 2015, este conjunto de datos cuenta con tres variables de insumos o *inputs* (Capital, trabajo y energía), un producto deseable u *output desirable* (PIB real) y un producto indeseable u *output undesirable* (emisiones de CO₂), las mismas pueden ser observadas en la tabla a seguir:

Tabla 1: Conjunto de datos de insumo-producto de las provincias de China presente en Wang (2022).

Variable				
name	storage type	display format	value label	variable label
Province	str12	%12s		province name
Year	Int	%10.0g		Year
K	Float	%9.0g		capital stock (in 100 million 1997 CNY)
L	Double	%10.0g		employment (in 10 thousand persons)
E	Double	%10.0g		energy consumption (in millions of tons standard coal)
Y	Float	%9.0g		real GDP (in 100 million 1997 CNY)
CO2	Float	%15.1f		carbon dioxide emission (in kg)

Fuente: Traducción propia de Wang (2022).

De la misma forma, utilizaremos el modelo del ejemplo anterior con variables similares para validar el modelo propuesto y realizar nuestros análisis sobre el caso de la agricultura de los países miembros del grupo económico que es foco de este estudio. En nuestro estudio colocamos dos variables de insumo o *inputs* una de *output* bueno (producción) y otra de *output* malo o indeseado (N₂O) siguiendo la metodología de cálculos de Wang, Du y Zhang (2022) para hacer rodar el modelo econométrico en el software utilizado.

Para ello, realizamos una búsqueda minuciosa en la base de datos FAOSTAT sobre las variables disponibles y que podríamos emplear en tal modelo. FAOSTAT proporciona acceso libre a datos sobre alimentación y agricultura de más de 245 países y 35 regiones, desde 1961 hasta el año más reciente disponible (FAOSTAT, 2025).

En este estudio fueron seleccionados datos de los 4 miembros activos del Mercosur: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Fueron consideradas las informaciones correspondientes a nuestras variables, existentes en un periodo de 5 años, comprendiendo los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.

Para tal, seleccionamos como variables de insumos o *inputs* Uso de la tierra (K), Trabajadores (L), como producto deseado u *output desirable* Producción (Y) y como salida indeseada u *output undesirable* Emisiones de N₂O (N₂O). Nuestro conjunto de datos insumos-productos puede ser observado en la tabla abajo:

Tabla 2: Conjunto de datos de insumos-productos generado a partir de Wang (2022) para los miembros activos del Mercosur.

Nombre de la Variable	Tipo de Almacenamiento	Tipo de Almacenamiento	Etiqueta de Variable
País	str12	%12s	Nombre del País
Año	Int	%10.0g	Año
K	Float	%9.0g	Uso de la tierra
L	Double	%10.0g	Trabajadores
Y	Float	%9.0g	Producción
N ₂ O	Float	%15.1f	Emisión de Óxido Nitroso

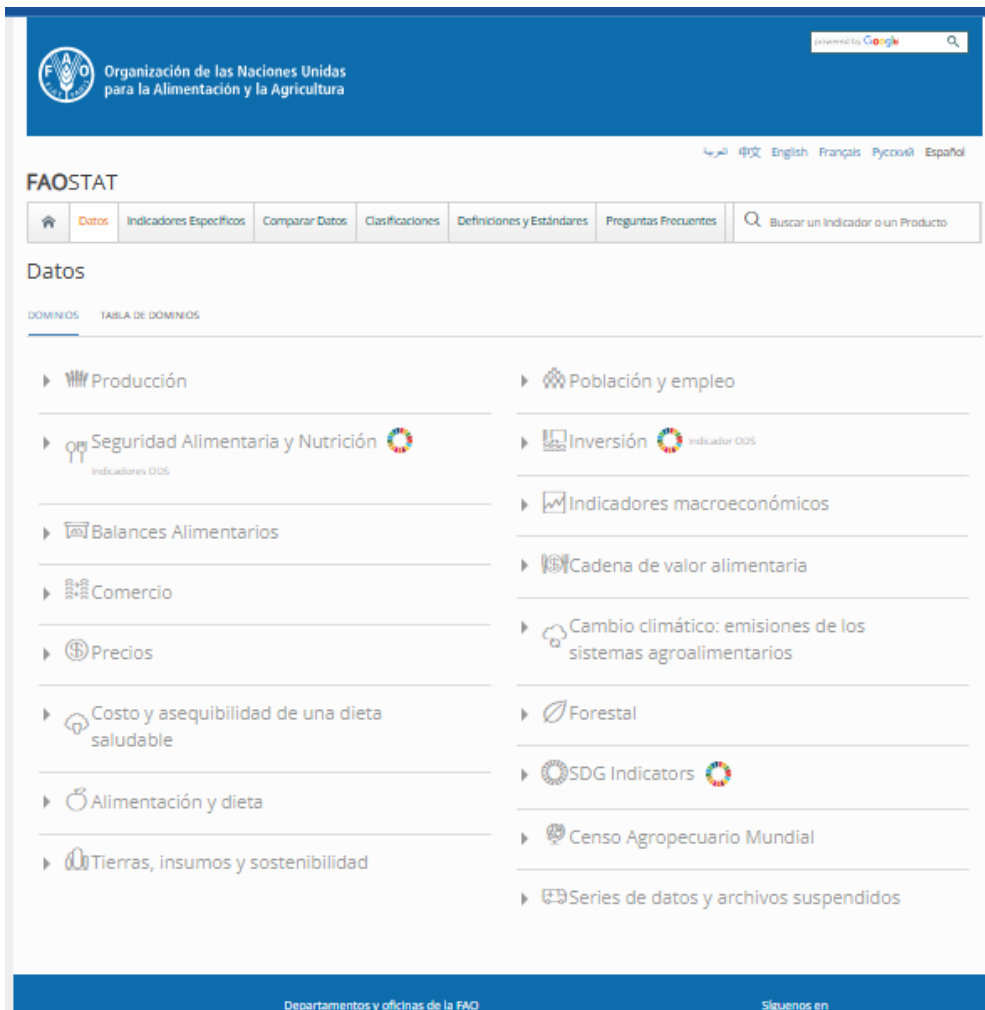
Fuente: Elaboración propia a partir de Wang (2022).

3.4 VARIABLES

A continuación, mostramos detalladamente de dónde fueron retirados los datos que conforman nuestras variables para el modelo, todos los datos fueron retirados del banco de datos disponibles de la FAOSTAT, divididos en variables de insumos o *inputs* y variables de salidas u *outputs* y los caminos que nos llevaron a encontrar esos datos en la base.

En la imagen 1 podemos observar todos los dominios existentes en la base de datos consultada, realizando una búsqueda minuciosa en cada uno de ellos, encontramos las series de datos que mejor se adapte a nuestra investigación para ser reemplazadas en el modelo de Wang (2022) que es el que se quiere replicar en este estudio para ver cuáles de los países estudiados son ecoeficientes en sus actividades agrícolas y posteriormente validar o modelo como herramienta de medición de la ecoeficiencia en la agricultura de los países estudiados.

Imagen 1: Dominios de la base de datos de la FAOSTAT.q



Fuente: <https://www.fao.org/faostat/es/#data>.

3.4.1 Detalles de las variables utilizadas en la investigación (insumos o *inputs*)

3.4.1.1 *Uso de la tierra (K)*:

Dominio: Terra, Insumos y Sostenibilidad > Uso de la Tierra > Países: Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay > Elementos: Superficie > Productos: Agricultura (Lista)/Agricultura > Años: 2018, 2019, 2020, 2021, 2022.

3.4.1.2 *Trabajadores (L)*:

Dominio: Población y empleo > Indicadores de empleo: Agricultura y sistemas agroalimentarios > Países: Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay > Indicador: Empleo en sistemas agroalimentarios > Empleo total en sistemas agroalimentarios (AFS) > Sexo: Total > Años: 2018, 2019, 2020, 2021, 2022.

3.4.2 Detalles de las variables utilizadas en la investigación (productos u *outputs*)

3.4.2.1 *Producción (Y)*:

Dominio: Producción > Índices de producción > Países: Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay > Elementos: Índice de producción bruto (Base 2014-2016) > Productos: Agricultura + (Total) > Años: 2018, 2019, 2020, 2021, 2022.

3.4.2.2 *Emisiones (N20)*:

Dominio: Cambio climático: emisiones de los sistemas agroalimentarios > Totales e indicadores de emisiones > Totales de las emisiones > Países: Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay > Elementos: Emisiones directas de N2O > Productos: Residuos agrícolas > Años: 2018, 2019, 2020, 2021, 2022.

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 PANORAMA GENERAL DE LOS DATOS POR PAÍS, AÑO Y VARIABLES.

El panorama general de los datos utilizados para realizar los cálculos del modelo de Wang, Du y Zhang (2022) a ser verificado para analizar los factores que influyen la gestión ecoeficiente de la producción agrícola de los países miembros activos del MERCOSUR, está determinado en la Tabla 3 abajo:

Tabla 3: Panorama de los datos finales en Stata

Country	Year	K	L	Y	N2O
Argentina	2018	115930,2	13505	97,5	192
Argentina	2019	116598,7	13562	112,2	232
Argentina	2020	117679,3	124248	108,7	227
Argentina	2021	117978,5	140184	108,5	224
Argentina	2022	118848,4	142196	110,1	229
Brasil	2018	234082,1	842048	107,5	377
Brasil	2019	231285,3	844269	109,9	395
Brasil	2020	228488,7	817918	112,7	414
Brasil	2021	225692,1	874464	112,4	422
Brasil	2022	222895,4	861908	114,5	436
Paraguay	2018	16337,8	61333	110,2	32
Paraguay	2019	16398,6	58344	102,3	30
Paraguay	2020	16456,5	64621	116,9	34
Paraguay	2021	16513,9	62534	110,2	31
Paraguay	2022	16628,6	55278	85,2	24
Uruguay	2018	14190,8	13294	88,7	8
Uruguay	2019	14127,3	13208	101,2	12
Uruguay	2020	14063,4	12101	91,7	10
Uruguay	2021	14070,4	12798	99,1	11
Uruguay	2022	14154,5	135100	111,1	10

Fuente: Elaboración propia en Stata.

Donde Contamos con los 4 países miembros activos del MERCOSUR: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay distribuidos en el periodo de 5 años (de 2018 a 2022). Las variables representadas por iniciales K (Uso de la tierra), L (Trabajadores), Y (Producción) y N2O (Emisiones).

El dominio de Uso de la Tierra de la FAOSTAT contiene datos sobre 44 categorías de uso de la tierra, irrigación y prácticas agrícolas (FAOSTAT, 2025) también cuenta con 5 indicadores importantes para monitoreo de las actividades agrícolas, forestales y pesqueras a

nival nacional, regional y global. Este dominio cuenta con datos agrupados por país, año de cobertura global y actualizaciones anuales.

La media de los indicadores del uso de la tierra, representados en la tabla 3 como (K), en nuestra base de datos montada, apuntan al Brasil con mayor media a pesar de la caída de la media del índice en todos los años analizados, Argentina es el segundo país de media mayor en los índices de uso de la tierra en constante ascensión en el periodo de tiempo estudiado, seguidamente Paraguay ocupa el tercer lugar con la media en ascensión año tras año y por último, Uruguay oscilando en los índices con caída de la media en los primeros 2 años, aumentando en los 2 años siguientes y cayendo nuevamente en el último año.

El dominio de Indicadores de Empleo de la FAOSTAT detalla indicadores relacionados al empleo en sistemas agroalimentarios y áreas rurales (FAOSTAT, 2025) la actualización es realizada anualmente utilizando datos de la base de datos de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) que maneja un amplio conjunto de indicadores y una variedad de tópicos relacionados a las estadísticas del trabajo.

Podemos observar en la tabla 3, la variable Trabajadores, representada por (L), los tres primeros países con mayor media en los indicadores de empleo respectivamente son Brasil, Argentina y Paraguay, estos tres con oscilaciones de aumento y caída en el índice mencionado. En cuarto lugar, tenemos a Uruguay, que representa caídas en este índice año tras año en los primeros 3 años y un aumento en los últimos 2 años estudiados.

Los índices de Producción Agrícola de la FAOSTAT muestran el nivel relativo del volumen agregado de la producción agrícola para cada año en comparación con el periodo de base de 2014 a 2016 (FAOSTAT, 2025) éstos índices, a nivel nacional, regional y mundial son calculados por la fórmula Laspeyres.

Los índices de producción, representados por (Y) en la tabla 3, ranquea al Brasil como primer lugar en la media de estos, con índices en constante aumento y una caída en medio del periodo estudiado. En segundo lugar, tenemos a Argentina que presenta oscilaciones, así como Paraguay que está en tercer lugar y Uruguay que está en cuarto lugar.

Por último, tenemos el dominio de Total de Emisiones de la FAOSTAT, es un resumen de las emisiones de gases de efecto invernadero disponibles dentro del dominio de Cambios Climáticos referentes a las emisiones de sistemas agroalimentarios (FAOSTAT, 2025) los datos se computan utilizando los métodos del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos) que son directrices para los inventarios nacionales de los gases de efecto invernadero.

Representado por (N₂O) en la tabla 3, tenemos los índices de emisiones de Óxido Nitroso que es el gas que las actividades agrícolas más emiten. Nuevamente liderando el ranking tenemos a Brasil, con índice en aumento año tras años en el periodo de 5 años establecido para este estudio. Seguidamente tenemos a Argentina en segundo lugar, Paraguay como tercero y Uruguay como último éstos 3 con oscilaciones en los índices de emisiones de N₂O.

También es posible observar en la tabla 3 que los índices de producción y emisiones son directamente proporcionales, esto se debe a que sólo emiten emisiones aquellos que producen, a medida que la producción aumenta aumentan también las emisiones.

4.2 CÁLCULO DE LA ECOEFICIENCIA: VALIDACIÓN DEL MODELO ECONOMÉTRICO.

En Stata es posible medir la eficiencia técnica radial utilizando el comando DEA asociada a varios comandos que posibilitan calcular también la eficiencia no radial e inferencia estadística en modelos de frontera no paramétricos, sin embargo, estos comandos tienen limitaciones para realizar análisis de eficiencia y productividad que envuelvan los resultados no deseados u *output undesirable* (Wang, Du y Zhang, 2022).

A fin de cumplir con los objetivos de esta investigación, utilizamos el modelo econométrico propuesto por Wang, Du y Zhang (2022), para descubrir la ecoeficiencia en la agricultura de los países miembros del Mercosur que se encuentran activos (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay).

En este estudio fueron seleccionados datos de los 4 miembros activos del Mercosur: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Fueron consideradas las informaciones correspondientes a nuestras variables, existentes en un periodo de 5 años, comprendiendo los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.

Para tal, seleccionamos como variables de insumos o *inputs* Uso de la tierra (K), Trabajadores (L), como producto deseado u *output desirable* Producción (Y) y como salida indeseada u *output undesirable* Emisiones de N₂O (N₂O).

4.2.1 Rutina de cálculo en Stata

Primeramente, fue creada y guardada la base de datos con todas las informaciones detalladas anteriormente. Luego, aplicamos la ecuación del modelo de Wang, Du y Zhang (2022) para obtener los resultados deseados, tal ecuación es la que sigue:

```

gen gK=0
gen gL=0
gen gY=Y
gen gN2O =-N2O
teddf K L= Y: N2O, dmu(Country) time (Year) gx(gK gL) gy(gY) gb(gN2O)

```

El comando `teddf`, desarrollado por Wang, Du y Zhang (2022), permite a los usuarios medir la eficiencia técnica, tanto radial como no radial, ante la presencia de resultados no deseados, en este caso, nos referimos al *output undesirable*.

La función representada por el comando `teddf` ocupado en Stata es la Función de Distancia Direccional, conforme Martínez (2019) esta función muestra cuánto una Unidad de Toma de Decisiones (DMU) está alejada o cerca de una frontera de eficiencia, evidenciando si ésta está operando de manera óptima, en este caso cada país estudiado corresponde a una DMU.

Nuestro resultado puede ser observado en de forma integral en el Anexo 1 y está representado en la tabla 4 a seguir:

Tabla 4: Resultados de la Función de Distancia Direccional DDF (Línea: línea en los valores originales; Dv: Valor estimado de DDF).

The directional vector is (gK gL gY gN2O)

Directional Distance Function Results:

(Row: Row # in the original data; Dv: Estimated value of DDF.)

	Row	Country	Year	Dv
1.	1	Argentina	2018	0.0000
2.	2	Argentina	2019	0.0000
3.	3	Argentina	2020	0.9007
4.	4	Argentina	2021	0.8980
5.	5	Argentina	2022	0.7809
6.	6	Brasil	2018	0.9499
7.	7	Brasil	2019	0.9361
8.	8	Brasil	2020	0.9423
9.	9	Brasil	2021	0.9426
10.	10	Brasil	2022	0.9538
11.	11	Paraguay	2018	0.0000
12.	12	Paraguay	2019	0.0000
13.	13	Paraguay	2020	0.0000
14.	14	Paraguay	2021	0.0000
15.	15	Paraguay	2022	0.0000
16.	16	Uruguay	2018	-0.0000
17.	17	Uruguay	2019	-0.0000
18.	18	Uruguay	2020	-0.0000
19.	19	Uruguay	2021	-0.0000
20.	20	Uruguay	2022	-0.0000

Note: Missing value indicates infeasible problem.

Fuente: Elaboración propia em STATA.

Fue necesaria la instalación de una extensión de nombre gtfpch, que proporciona herramientas para medir el cambio en la productividad así, el vector direccional es el que sigue:

(gK gL gY gN2O)

Observando la tabla 4, podemos ver los valores de la Función de Distancia Direccional representados por *Dv* que determina qué tan cerca están las DMU de la ecoeficiencia de una determinada actividad por medio del modelo de Wang, Du y Zhang (2022), en ese sentido la variable *Dv* almacena los valores de la función de distancia direccional no radial de las DMU.

Por definición, la eficiencia de cualquier DMU será siempre menor o igual que 1, si una DMU presenta resultado 1 quiere decir que es eficiente, las DMU que sean menor que 1 esto quiere decir que es ineficiente y al compararlas con otras que también sean menores que 1 podremos observar cual DMU tiene mayor eficiencia, o sea, sabremos quienes están más cerca de la frontera de eficiencia (Martínez, 2019, p.12).

Podemos observar en la tabla 4 que, en los 5 años estudiados, según nuestros datos levantados de la base de la FAOSTAT y que fueron convertidos en variables rodadas en el modelo, en primer lugar, al Brasil que entre los 4 países es el más eficiente, o sea, el país que

más cerca se encuentra de la frontera de eficiencia. En los 5 años, Brasil presentó el mejor desempeño posible dados los insumos y productos disponibles.

Argentina por su parte, fue ineficiente en los primeros dos años de estudio, presentando un rendimiento óptimo en los 3 años subsecuentes en base a los datos de entradas y salidas disponibles en nuestra base de datos.

En otras palabras, observando el resultado de las Dv, que al Brasil le faltan estrategias capaces de vislumbrar mejoras y conquistar menos de 10% faltantes en sus actividades para alcanzar un nivel de eficiencia óptimo, lo mismo sucede en el caso de Argentina en los 3 últimos años de análisis.

Paraguay y Uruguay fueron los dos países totalmente ineficientes en los 5 años estudiados, en base a las informaciones de insumos y productos levantados para este análisis.

La tabla 4 nos presenta los resultados del nivel de ecoeficiencia de las DMU estudiadas, en ese sentido bajo la lógica de Picazo, Beltrán y Gómez (2012) podemos destacar nuestro análisis como una información importante para que las DMU puedan trazar estrategias para mantener el valor añadido y reducir las presiones ambientales de sus actividades agrícolas.

Esta mensuración subsidia a los políticos, gobernantes, gerentes de empresas, planeadores de políticas públicas y demás involucrados, primeramente, en identificar la situación actual y vislumbrar los caminos que deben ser recorridos para tornar sus actividades eficientes.

También auxilia en la toma de decisiones estratégicas para conducir una determinada actividad hacia un rendimiento óptimo o al mejor desempeño posible, dados los insumos (entradas) y productos (salidas) disponibles.

Con esto, validamos el modelo de Wang, Du y Zhang (2022) y generamos un índice de ecoeficiencia de la producción agrícola de los países miembros activos del MERCOSUR.

5 CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

El objetivo general de este trabajo es analizar factores comunes a través de un modelo econométrico, validando el modelo de Wang, Du y Zhang (2022), que determinará la gestión ecoeficiente de la producción agrícola de los países miembros activos del MERCOSUR.

Para tal, fue realizada una revisión sistemática de la literatura sobre los conceptos utilizados para denominar la ecoeficiencia en prácticas agrícolas del MERCOSUR,

constatando que, la ecoeficiencia es un valor mensurable pero no existe una fórmula o un modelo único capaz de medirla, cada organización establece su forma de medir si su actividad es ecoeficiente o no. Esta mensuración irá depender del funcionamiento y uso de los recursos existente en cada países o institución partiendo de cada uno de sus procesos que utilizan entradas y generan salidas.

Es importante también señalar las contribuciones de Picazo, Beltrán y Gómez (2012) apuntando a las mediciones de ecoeficiencia como una herramienta que ha ganado relevancia en los ambientes políticos, académicos y empresariales; en el ambiente político, por ejemplo, significa un dato importante para enfrentar el desafío de asegurar la sostenibilidad a largo plazo y mejorar los diseños de las políticas ambientales (Picazo, Beltrán y Gómez, 2012).

Seguidamente se condujo una revisión bibliográfica sobre el MERCOSUR, los países que lo integran y las principales características de las actividades agropecuarias de los mismos, donde fueron presentadas brevemente las principales características e informaciones relevantes del sector agrícola de los países del MERCOSUR, en este estudio fueron seleccionados datos de los 4 miembros activos del Mercosur: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.

Cabe destacar que el sector agrícola es un sector de gran importancia para los países que integran el MERCOSUR ya que representa un peso importante para el PIB de cada país, evidenciando las contribuciones de Arce (2020) sobre el papel fundamental de los productos de base primaria para estos países miembros que tradicionalmente son competitivos en el sector agrícola y ganadero.

Podemos concluir que se procede a validar el modelo econométrico presentado por Wang, Du y Zhang (2022), para descubrir la ecoeficiencia en la agricultura de los países miembros del Mercosur. Para tal, fue realizada una búsqueda minuciosa en la base de datos FAOSTAT sobre las variables disponibles y que podríamos emplear en tal modelo, fueron seleccionados datos de los 4 miembros activos del Mercosur: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay y consideradas las informaciones correspondientes a nuestras variables, existentes en un periodo de 5 años, comprendiendo los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.

Para tal, seleccionamos como variables de insumos o *inputs* Uso de la tierra (K), Trabajadores (L), como producto deseado u *output desirable* Producción (Y) y como salida indeseada u *output undesirable* Emisiones de N₂O (N₂O).

Una vez creada la base de datos, con todas las informaciones necesarias se procedió a realizarlos cálculos en el software Stata ocupando el comando *teddf* que básicamente muestra cuánto una Unidad de Toma de Decisiones (DMU) está alejada o cerca de una frontera de

eficiencia, evidenciando si ésta está operando de manera óptima, en este caso cada país estudiado corresponde a una DMU; también fue necesaria la instalación de una extensión de nombre gtfpch que proporciona herramientas para medir el cambio en la productividad.

La tabla 4 nos presenta los resultados alcanzados al aplicar el modelo econométrico propuesto por Wang, Du y Zhang (2022), donde D_v que determina qué tan cerca están las DMU de la ecoeficiencia de una determinada actividad, la variable D_v almacena los valores de la función de distancia direccional no radial de las DMU, por definición, la eficiencia de cualquier DMU será siempre menor o igual que 1, si una DMU presenta resultado 1 quiere decir que es eficiente.

En primer lugar, tenemos a Brasil, que entre los 4 países es el más eficiente, o sea, el país que más cerca se encuentra de la frontera de eficiencia “igual a 1” en los 5 años (0,94/0,93/0,94/0,94/0,95) respectivamente, Brasil presentó el mejor desempeño posible dados los insumos y productos disponibles con un óptimo desempeño en disminuir el Óxido Nitroso (N₂O); seguido por Argentina que fue ineficiente en los primeros dos años de estudio (según la tabla 4), presentando un rendimiento óptimo en los 3 años subsecuentes en base a los datos de entradas y salidas disponibles en nuestra base de datos. Paraguay y Uruguay fueron los dos países totalmente ineficientes en los 5 años estudiados, en base a las informaciones de insumos y productos levantados para este análisis.

Este análisis sirve de apoyo para las DMU a la hora de trazar estrategias para realizar la gestión eficiente de sus respectivas actividades, subsidiando a políticos, gobernantes, gerentes de empresas, planeadores de políticas públicas a vislumbrar la situación actual por medio de la distancia direccional entre el *status quo* y la frontera de eficiencia y a partir de ello planear estrategias para conducir una determinada actividad hacia un rendimiento óptimo o al mejor desempeño posible.

Para enriquecer los estudios sobre una determinada región ya apuntando continuaciones o complementaciones posibles a este trabajo podemos mencionar mejores especificaciones en las variables seleccionadas para estudio, explorar otras bases de datos que capaz ofrezcan mejores datos para aplicarlos, comparar políticas ecoeficientes en los países o regiones estudiadas.

REFERENCIAS

- AGRIBRASILIS. **Paraguay debe cosechar 8,4 millones de toneladas de soja en 2022/23.** Disponible en: < <https://agribrasilis.com/2023/03/02/culturas-paraguai/>>. Publicado en: 2 de marzo de 2023. Acceso en: 20 de marzo de 2025.
- AGRISHOW. **Agricultura pelo mundo: conheça a agricultura da Argentina.** Disponible en: < <https://digital.agrishow.com.br/tendencias/agricultura-pelo-mundo-conheca-a-agricultura-da-argentina/>> Publicado en: 27 de diciembre de 2024. Acceso en: 19 de mayo de 2025.
- ARCE MÜLLER, Elias. **Impacto económico del tratado de libre comercio entre la Unión Europea y el Mercosur para la industria automotriz y agrícola.** 2020. Trabajo de Conclusão de Curso. Escuela de Economía, Administración y Negocios. Facultad de Negocios Internacionales.
- ARELLANO, M. *Panel Data Econometrics.* New York: **Oxford University Press.** 2003. Disponible en: <<https://doi.org/10.1093/0199245282.001.0001>>.
- BRASIL ESCOLA. **Agricultura Brasileira.** Disponible en: <<https://brasilecola.uol.com.br/brasil/agricultura.htm#:~:text=O%20Brasil%20se%20consolidou%20como,%2Dde%2Da%20C3%A7%C3%BAcar%20e%20algod%C3%A3o.>> Acceso en: 20 de mayo de 2025.
- CHARNES, A.; COOPER, W.; RHODES, E. Measuring the efficiency on decision making units. *European Journal of Operational Research*, n. 2, p.429-444, 1978.
- CHUNG, Y., FÄRE, R., GROSSKOPF, S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. *Journal of Environmental Management*, n. 51, p. 229-240, 1997.
- CNA. Confederación de la Agricultura y Pecuaria del Brasil. **Panorama del Agro.** Disponible en: <<https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro#:~:text=De%20acordo%20com%20os%20dados,ser%20conferida%20na%20tabela%201.>> Acceso en: 20 de mayo de 2025.
- COACALLA-CASTILLO, Carlos Enrique, et al. **Pensamiento Sistémico en la Enseñanza de la Ecoeficiencia en Universidades.** *Producción+ Limpia*, 2022, vol. 17, no 1, p. 6-19.
- COURCELLE, C.; KESTEMONT M.P.; ; TYTECA, D. **Assessing the economic and environmental performance of municipal solid waste collection and sorting programmes.** *Waste Management & Research*. 16,3, 253-263. 1998.
- DALCERO, Kátia; FERREIRA, Denize Dermache Minatti. **Ecoeficiência das pequenas propriedades suinícolas cooperativistas catarinenses Influência Certificação pelo programa Propriedade Rural Sustentável.** *Revista Grifos*, 2022, vol. 31, no 56, p. 168-188.
- DE VILLALOBOS, Ruy. **El comercio agropecuario en el MERCOSUR: Veinte años después del Tratado de Asunción.** 2015.

DELGADO, Juan, et al. **Ecoeficiencia de la infraestructura hidráulica del sistema Chancay-Lambayeque y su impacto en la huella hídrica de la producción agrícola.** *Revista Campus*, 2020, vol. 25, no 30, p. 227-250.

DÍAZ-VILLAVICENCIO, G.; DIDONET, S. R.; DODD, A. **Influencing factors of eco-efficient urban waste management: Evidence from Spanish municipalities**, *Journal of Cleaner Production*, v. 164, p. 1486-1496, 2017.

DYCKHOFF, H.; ALLEN, K. **Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (DEA)**. *European Journal of Operational Research*. 132, (2), 312-325. 2001.

ELJACH-HERNANDEZ, Diana Patricia; CASTRO-CASTELLANOS, William Wannergg. **Ecoeficiencia y Gestión Ambiental Sostenible: Reflexiones para la Gerencia del Siglo XXI.** *CIENCIAMATRIA*, 2020, vol. 6, no 1, p. 723-751.

ESQUIVEL, Mercedes Janqui; VALENCIA, William Segundo. **Importancia de la ecoeficiencia en las organizaciones empresariales en Latinoamérica.** Artículo de revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 2022, vol. 6, no 2, p. 2281-2297.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. **Theory and application of directional distance functions.** *Journal of Productivity Analysis*. 13, 93-103. 2000.

FAOSTAT. **FAOSTAT Datos.** Disponible en < <https://www.fao.org/faostat/es/#data> > Acceso: 25, marzo, 2025.

FUCCILLE, Alexandre; LUCIANO, Bruno Theodoro; BRESSAN, Regiane Nitsch. **Para além do comércio: Mercosul, democracia e segurança regional.** *Lua Nova: Revista de Cultura e Política*, n. 112, p. 217-250, 2021.

GAMA, Thais Gabriela Veras. **Ensaio sobre ecoeficiência agropecuária no Brasil e na Amazônia Legal.** 2022.

GOMEZ, Yudi Lorena Bravo. **Análise da eficiência energética caso de estudo da Colômbia em relação a América do Sul.** 2023. Dissertação de Mestrado de Políticas Públicas e Desenvolvimento, UNILA.

GRANATO, Leonardo. **Os trinta anos do Mercosul: apontamentos para um balanço.** *Austral: revista brasileira de estratégia e relações internacionais*. Porto Alegre. Vol. 10, n. 19 (jan./jun. 2021), p. 9-29, 2021.

HUTTON, Brian; CATALÁ-LÓPEZ, Ferrán; MOHER, David. **A extensão da declaração PRISMA para revisões sistemáticas que incorporam meta análise em vermelho: PRISMA-NMA.** *Med Clin (Barc)*, v. 6, pág. 262-6, 2016.

IBGE. **Producción Agropecuaria.** Disponible en: < <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/> > Acceso en: 20 de mayo de 2025.

INGA, Reiner Pedro Gabriel Reátegui, et al. **Nivel de Ecoeficiencia en la Cooperativa Agraria Cafetalera Divisoria LTDA y la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo.** *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 2020, vol. 4, no 1, p. 50-56.

INGA, Manuel Emilio Reátegui, et al. **Nivel de ecoeficiencia en las municipalidades distritales de Luyando Naranjillo (Huánuco) y Nueva Cajamarca (San Martín).** *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 2021, vol. 5, no 3, p. 2981-2990.

IPCC. Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos. Seguridad Alimentaria. Disponible en: < <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-5/>>. Publicado en: 2019. Acceso en: 18 de mayo de 2025.

LAPITZ, Rocío; EVIA, Gerardo; GUDYNAS, Eduardo. **Soja y Carne en el Mercosur.** Coscoroba, Montevideo, Uruguay, 2004.

MACIEL, Harine Matos; MACIEL, Wlisses Matos; GOMES, Maria Antunizia. **Brasil e a Ecoeficiencia: Uma análise através do metodo envoltoria com livre disposição.** *Brazilian Journal of Development*, 2020, vol. 6, no 10, p. 82049-82061.

MANRIQUE, Luis Esteban G. **La hora de Mercosur, el nuevo granero global.** Política Exterior. Disponible en: < <https://www.politicaexterior.com/la-hora-de-mercosur-el-nuevo-granero-global/>>. Publicado en: 10 de mayo de 2022. Acceso en: 16 de mayo de 2025.

MAPA. **Relatorio Agronegocio Argentina.** Disponible en: < https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/relacoes-internacionais/adidos-agricolas/argentina/copy_of_RELATRIOAGRONEGCIOARGENTINAv1finalcgaag17.05.2022.pdf> Brasilia, 2022. Acceso en: 20 de mayo de 2025.

MAPA. **Argentina.** Disponible en: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/relacoes-internacionais/adidos-agricolas/argentina#:~:text=A%20Argentina%20%C3%A9%20um%20dos,%20Da%20%C3%A7%C3%BAcar%20e%20toranja.>> Publicado en: 27/05/2024. Acceso en: 10 de mayo de 2025.

MARIANO, Karina L. Pasquariello; MENEZES, Roberto Goulart. **Três décadas de Mercosul: institucionalidade, capacidade estatal e baixa intensidade da integração.** Lua Nova: Revista de Cultura y Política, n. 112, p. 147-179, 2021.

MARQUES, Diego Gouveia. **Ecoeficiência do Sistema Produtor São Lourenço.** *Revista Ambientale*, 2021, vol. 13, no 4, p. 25-37.

MARTÍNEZ, José Luis Velázquez. **Aplicación de la metodología DEA para el estudio del desempeño de futbolistas de La Liga.** 2019. Tese de Doutorado. Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla]. España. <https://idus.us.es/items/785ad3ce-c66d-4143-8bb3-a4a0d4e2e59f>.

MERCOSUR. **¿Qué es el MERCOSUR?** Disponible en: <<https://www.mercosur.int/quienes-somos/en-pocas-palabras/>> Acceso en: 8 mar 2025.

MESQUITA, Fernando Campos. A agricultura nas doutrinas do planejamento regional. – Rio de Janeiro – vol. 7, nº 1, janeiro a abril de 2020, p. 68 - 85

MOREIRA, Márcia Athayde; DE SOUSA, Ana Lidia Ferreira. **Tratamento e análise de resíduos da produção de açaí: um estudo sob a ótica da ecoeficiência.** *REVISTA*

AMBIENTE CONTÁBIL-Universidad Federal de Rio Grande del Norte-ISSN 2176-9036, 2020, vol. 12, no 2, p. 279-297.

PALOMARES, Roberto I. Beltrán et al. **Conocimiento ecológico tradicional y conductas hacia la ecoeficiencia agrícola en pobladores de la provincia de Junín, Perú**. *Ciencia & Desarrollo*, n. 27, p. 111-120, 2020.

PICAZO, A. J., REIG, M. E., HERNANDEZ, S. F. Directional distance functions and environmental regulation. *Resource and Energy Economics*, n. 27, p. 131-142, 2005.

PICAZO-TADEO, A.;BELTRÁN-ESTEVE, M.;GÓMEZ-LIMÓN, J. **Assessing eco-efficiency with directional distance functions**. *European Journal of Operational Research*. Volumen 220, Issue 3, Pages 798-809. 2012.

PINZÓN COLMENARES, Ingrid Estefanía; RAMÍREZ CANDO, Lenin Javier. **Ecoeficiencia de los modelos de producción agrícola de maíz duro y su influencia al cambio climático en Shushufindi Ecuador**. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 2021, vol. 33, no 1, p. 76-91.

PITRE-REDONDO, Remedios; DE LA OSSA GUERRA, Santander; PALMA, Hugo Gaspar Hernández. **Ecoeficiencia: clave de la responsabilidad ambiental empresarial en el sector textil**. *Desarrollo Gerencial*, 2020, vol. 12, no 2, p. 1-20.

PONCE, José; COLAMARCO, Ignacio Looor. **Ecoeficiencia empresarial, un repaso sobre su implementación en América latina**. *593 Digital Publisher CEIT*, 2020, vol. 5, no 5, p. 252-263.

PRIOR, D.; ROVIRA, M.R. **Eco-efficiency evaluation of Spanish municipalities: a non-parametric frontier approach**, EAA Congress – Prague. 2004.

SEIFORD, L.M.;ZHU, J. **Modeling undesirable factors in efficiency evaluation**. *European Journal of Operational Research*. 142, 16-20. 2002.

SILVA, João Vitor Borges da, et al. **Ecoeficiência da produção agropecuária na Amazônia brasileira: fatores determinantes e dependência espacial**. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 2021, vol. 60, no spe, p. e250907.

SILVA, João Vitor Borges da. **Ecoeficiência da agropecuária amazônica: custos de oportunidade e fatores condicionantes**. 2021.

UGP-Unión de Gremios de la Producción.Disponible en:<
<https://www.ugp.org.py/2023/12/29/produccion-agricola-dinamiza-diversos-aspectos-economicos-en-paraguay/>>.Acceso en: 20 de mayo de 2025.

URUGUAY XXI. **Sector agrícola en Uruguay**. Promociones de Inversiones, exportaciones e Imagen País. 2024. Disponible en:<
[https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/3c65f7d9c47fd2235bbc5752bd3ad5c2f005ec88.pdf#:~:text=INFORME%20AGR%C3%8DCOLA%20%7C%20NOVIEMBRE%202024,-Gr%C3%A1fico%20N%C2%BA12%20%E2%80%93%20Precio&text=La%20soja%20es%20un%20de,exportaciones%20y%20US\\$%2064%20millones.](https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/3c65f7d9c47fd2235bbc5752bd3ad5c2f005ec88.pdf#:~:text=INFORME%20AGR%C3%8DCOLA%20%7C%20NOVIEMBRE%202024,-Gr%C3%A1fico%20N%C2%BA12%20%E2%80%93%20Precio&text=La%20soja%20es%20un%20de,exportaciones%20y%20US$%2064%20millones.)> Acceso en: 22 de mayo de 2025.

UIVERSIDAD ORT URUGUAY. La importancia del agro en Uruguay: por qué invertir en agronegocios. Disponible en: <https://facs.ort.edu.uy/blog/importancia-del-agro-en-uruguay-por-que-invertir-en-agronegocios>>. Acceso en: 22 de mayo de 2025.

WANG, Daoping; DU, Kerui; ZHANG, Ning. **Medindo a eficiência técnica e a mudança da produtividade total dos fatores com resultados indesejáveis no Stata**. The Stata Journal, v. 22, n. 1, p. 103-124, 2022.

YOU, H.; ZHANG, X. **Ecoefficiency of Intensive Agricultural Production and Its Influencing Factors in China: An Application of DEA-Tobit Analysis**. Discrete Dynamics in Nature and Society, v. 2016, 2016.

ANEXOS

ANEXO 1: HOJA DE RESULTADO DE LA FUNCIÓN DE DISTANCIA DIRECCIONAL APLICADA EN STATA

```

-----
| STATA | (R)
|-----|
| Statistics/Data analysis | 16.1 Copyright 1985-2019 StataCorp LLC
|-----|
| Special Edition |
|-----|

Stata license: Single-user perpetual
Serial number: 401606359835
Licensed to: VIGICAN
UFMT

Notes:
1. Unicode is supported; see help unicode advice.
2. Maximum number of variables is set to 5,000; see help set maxvar.

1 . use "G:\Meu Drive\UNILA_2024\TCCs\TCC Andrea\DATA\tesis5.dta"
2 . gen gK=0
3 .
4 . gen gL=0
5 .
6 . gen gY=Y
7 .
8 . gen gN20 =-N20
9 .
10 . teddf K L= Y: N20, dnu(Country) time(Year) gx(gK gL) gy(gY) gb(gN20)
New version available, 4.04 =>4.05
It can be updated by:
net install gtfpch,from(https://raw.githubusercontent.com/kerrydu/gtfpch/master/) replace
or,
net install gtfpch,from(https://gitee.com/kerrydu/gtfpch/raw/master/) replace

The directional vector is (gK gL gY gN20)

Directional Distance Function Results:
(Row: Row # in the original data; Dv: Estimated value of DOF.)

```

	Row	Country	Year	Dv
1.	1	Argentina	2018	0.0000
2.	2	Argentina	2019	0.0000
3.	3	Argentina	2020	0.9007
4.	4	Argentina	2021	0.8980
5.	5	Argentina	2022	0.7809
6.	6	Brasil	2018	0.9499
7.	7	Brasil	2019	0.9361
8.	8	Brasil	2020	0.9423
9.	9	Brasil	2021	0.9426
10.	10	Brasil	2022	0.9538
11.	11	Paraguay	2018	0.0000
12.	12	Paraguay	2019	0.0000
13.	13	Paraguay	2020	0.0000
14.	14	Paraguay	2021	0.0000
15.	15	Paraguay	2022	0.0000
16.	16	Uruguay	2018	-0.0000
17.	17	Uruguay	2019	-0.0000
18.	18	Uruguay	2020	-0.0000
19.	19	Uruguay	2021	-0.0000
20.	20	Uruguay	2022	-0.0000

Note: Missing value indicates infeasible problem.