

LA SOYA EN ECUADOR: IMPORTANCIA Y ALTERNATIVAS PARA SU PRODUCCIÓN SUSTENTABLE CON RENTABILIDAD ECONÓMICA¹

Oyarvide-Ramírez, Harold²
Arce-Olivo, Tito³
Loor-Reasco, Wilson⁴
Quiñónez Monrroy, Guadalupe⁵

Recibido: 18-10-2022 Revisado: 30-10-2022 Aceptado: 28-11-2022

RESUMEN

La soya (*Glycine max*) es un alimento de importancia estratégica para la seguridad alimentaria del Ecuador, debido a su alto índice proteínico tanto para la alimentación humana como animal. La soya o tortas de harina de soya constituyen un insumo principal para la elaboración de alimentos balanceados para animales, que a su vez se utilizan para la producción de carne de pollo, carne porcina, huevos y –en menor medida– para la alimentación de bovinos (consumo humano indirecto). La soya también se emplea para consumo humano directo, principalmente como aceite vegetal de soya, leche de soya, margarina de soya, salsa de soya y otras preparaciones. Desde el punto de vista nutricional la soya

¹ Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas (UTE-LVT, Ecuador), institución en la cual se enmarcan los proyectos de investigación que permitieron la realización de este artículo: el proyecto de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, titulado «Impactos económicos, ambientales y sociales derivados de la utilización de los cultivos energéticos en la Provincia de Esmeraldas»; y el de la Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas, titulado «Procedimientos para el fortalecimiento y sostenimiento de los emprendimientos del Cantón Esmeraldas».

² Ingeniero Comercial (Universidad Técnica «Luis Vargas Torres» de Esmeraldas-UTE-LVT, Ecuador); M.Sc. en Administración de Empresas-UTE-LVT, Ecuador); Doctor en Ciencias Económicas (Universidad de Oriente-UNAO, Cuba). Exdirector del Centro de Desarrollo Empresarial de la UTE-LVT de Esmeraldas; Profesor Investigador Titular de la Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas, UTE-LVT de Esmeraldas. *Dirección postal:* Barrio Nuevos Horizontes, Ciudadela Universitaria, Esmeraldas, Ecuador. *ORCID:* <https://orcid.org/0000-0003-0221-1568>. *Teléfono:* +593 997512968; *e-mail:* harold.oyarvide@utelvt.edu.ec

³ Ingeniero Agrónomo (Universidad Técnica «Luis Vargas Torres» de Esmeralda-UTE-LVT, Ecuador); M.Sc. en Desarrollo Humano y Comunitario (UTE-LVT, Ecuador). Miembro de la Comisión Académica de la Maestría en Gestión Ambiental; Jefe de Programas de Ciclo Corto, Facultad de Ciencias Agropecuarias UTLVTE de Esmeraldas; Docente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, UTE-LVT de Esmeraldas. *Dirección postal:* Urbanización Costa Verde, Calle 55 M287 SL9 P11. Esmeraldas, Ecuador. *ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-3194-1263>. *Teléfono:* +593 991513587; *e-mail:* tito.arce@utelvt.edu.ec

⁴ Ingeniero Agrónomo (Universidad Técnica «Luis Vargas Torres» de Esmeraldas-UTE-LVT, Ecuador); M.Sc. en Formulación Evaluación y Gestión de Proyectos Sociales y Productivos (Universidad Nacional de Chimborazo-UNACH, Ecuador). Profesor contratado de la -UTE-LVT de Esmeraldas; Profesor Coordinador del departamento de Vinculación con la Sociedad de la Carrera de Ingeniería Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UTE-LVT de Esmeraldas; Secretario de la Comisión de Titulación de la Carrera de Agronomía, UTE-LVT de Esmeraldas. *Dirección postal:* Barrio Nuevos Horizontes, Ciudadela Universitaria, Esmeraldas, Ecuador. *ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-9941-7329>. *Teléfono:* +593 996666280; *e-mail:* wilson.loor.reasco@utelvt.edu.ec

⁵ Ingeniera en Zootecnia (Universidad Técnica «Luis Vargas Torres» de Esmeralda-UTE-LVT, Ecuador); Licenciada en Ciencias de la Educación mención Ciencias Naturales (UTE-LVT, Ecuador); M.Sc. en Gestión Ambiental (UTE-LVT, Ecuador). Profesora Contratada de la UTE-LVT de Esmeraldas; Docente Responsable del departamento de Vinculación con la Sociedad de la Carrera de Ingeniería Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UTE-LVT de Esmeraldas. *Dirección postal:* 080102, Olmedo 212 y Homero López. Esmeraldas, Ecuador. *ORCID:* <https://orcid.org/0000-0002-3953-7994>. *Teléfono:* +593 959480026; *e-mail:* guadalupe.quinonezmonrroy@gmail.com

contiene los nueve aminoácidos esenciales para el organismo, lo que explica su importancia para la alimentación humana. El artículo se basa en una investigación documental, a partir de la revisión de artículos científicos y fuentes estadísticas. El objetivo central fue indagar sobre aspectos clave de la cadena de valor de la soja, su importancia agronómica, socioeconómica y ambiental y el rendimiento del cultivo en Ecuador, país que depende altamente de las importaciones de este importante alimento. Fueron comparados resultados de algunas investigaciones, a fin de contrastar los beneficios de cada una de las variedades y técnicas de cultivo en ellas presentadas, con el fin último de seleccionar la más factible en términos de rendimientos, sustentabilidad y rentabilidad económica para Ecuador. Tomando en cuenta los hallazgos derivados del análisis comparativo, se propone la aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium*, *Azorhizobium* y *Bradyrhizobium*) como la estrategia sustentable y adecuada, dado que favorece al rendimiento del cultivo y a mejorar las condiciones físico-químicas de los suelos cultivados, a la vez que promete una alta rentabilidad económica. También se recomienda realizar estudios experimentales con la finalidad de formular y probar fertilizantes orgánicos que disminuyan costos de producción y que aporten los nutrientes necesarios para un mejor desarrollo de los cultivos que, por ende, se traduzcan en mejores resultados de producción. Además de reducir el impacto ambiental de los residuos de fertilizantes en agua y atmósfera, permitiría alcanzar una rentabilidad económica atractiva en las explotaciones. Igualmente se recomienda implementar políticas apropiadas para aumentar la producción doméstica de soja y reducir así la dependencia de las importaciones.

Palabras clave: soja, estrategias sustentables, rendimiento, costos de producción, rentabilidad, Ecuador

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max*) has strategic importance for food security in Ecuador, due to its high protein content for both human and animal feed. Soybean or soybean meal cakes are a key input for the production of animal feed used for the production of poultry, pork, eggs, and to a lesser extent for cattle feed. Soybeans are also used for human consumption, mainly as soy vegetable oil, soymilk, soy margarine, soy sauce, and other preparations. The nutritional components of soybeans contain all nine amino acids essential for the body, which is also important for human food. The research conducted a documentary investigation based on scientific articles and statistical sources, in order to learn about some aspects of the soybean value chain, its importance, and the yield of soybean cultivation in Ecuador, a country that is highly dependent on imports of this food. In order to contrast the benefits of each of the varieties and techniques presented, we compared some research results with the ultimate goal of selecting the most feasible in terms of yields, sustainability, and economic profitability for Ecuador. Based on the findings derived from the comparative analysis, the application of nitrogen-fixing bacteria (*Rhizobium*, *Azorhizobium*, and *Bradyrhizobium*) is proposed as the sustainable and appropriate strategy, since it favors crop yield and improves the physicochemical conditions of the cultivated soils while promising high economic profitability. We also recommended experimental studies in order to formulate and test organic fertilizers that reduce production costs and provide the necessary nutrients for better crop development and, therefore, better production results. In addition, in order to reduce the environmental impact of fertilizer residues in water and the atmosphere it would allow for achieving attractive economic profitability in farms. Finally, implementing appropriate policies to increase domestic soybean production and to reduce dependence on imports is also recommended.

Key words: Soy beans, sustainable strategies, yield, production costs, profitability, Ecuador

RÉSUMÉ

Le soja (*Glycine max*) est un aliment d'importance stratégique pour la sécurité alimentaire en Équateur, en raison de sa forte teneur en protéines pour l'alimentation humaine et animale. Les tourteaux de soja ou de farine de soja sont un intrant principal pour la production d'aliments pour animaux, qui sont à leur tour, utilisés pour la production de viande de volaille, de porc, d'œufs et, dans une moindre mesure, pour l'alimentation du bétail (consommation humaine indirecte). Le soja est également utilisé pour la consommation humaine directe, principalement sous forme d'huile végétale de soja, de lait de soja, de margarine de soja, de sauce de soja et d'autres préparations. D'un point de vue nutritionnel, le soja contient les neuf acides aminés essentiels pour l'organisme, ce qui explique son importance pour l'alimentation humaine. L'article se fonde sur une recherche documentaire, basée sur l'examen d'articles scientifiques et de sources statistiques. L'objectif principal était d'étudier les principaux aspects de la chaîne de valeur du soja, son importance agronomique, socio-économique et environnementale et les rendements des cultures en Équateur, un pays qui dépend fortement des importations de cette importante denrée alimentaire. Les résultats

des recherches ont été comparés afin d'opposer les avantages de chacune des variétés et techniques présentées, dans le but ultime de sélectionner les plus réalisables en termes de rendements, de durabilité et de rentabilité économique pour l'Équateur. Compte tenu des résultats de l'analyse comparative, l'application de bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium*, *Azorhizobium* et *Bradyrhizobium*) est proposée comme une stratégie durable et appropriée, étant donné qu'elle favorise le rendement des cultures et améliore les conditions physico-chimiques des sols cultivés, tout en promettant une rentabilité économique élevée. Des études expérimentales sont également recommandées afin de formuler et de tester des engrais organiques qui réduisent les coûts de production et fournissent les éléments nutritifs nécessaires à un meilleur développement des cultures et, par conséquent, à de meilleurs résultats de production. En plus de réduire l'impact environnemental des résidus d'engrais dans l'eau et l'atmosphère, cela permettrait une rentabilité économique intéressante des exploitations. Il est également recommandé de mettre en œuvre des politiques appropriées pour augmenter la production nationale de soja et réduire ainsi la dépendance aux importations.

Mots clés : soja, stratégies durables, rendement, coûts de production, rentabilité, Équateur

RESUMO

A soja (*Glycine max*) é um alimento de importância estratégica para a segurança alimentar no Equador, devido ao seu elevado teor proteico, tanto para a alimentação humana como animal. Os bolos de soja ou de farinha de soja são um insumo principal para a produção de alimentos para animais utilizados para a produção de carne de galinha, carne de porco, ovos e, em menor medida, para a alimentação do gado. Os grãos de soja são também utilizados para consumo humano, principalmente como óleo vegetal de soja, leite de soja, margarina de soja, molho de soja e outras preparações. Os componentes nutricionais da soja contêm todos os nove aminoácidos essenciais para o corpo, o que também é importante para a nutrição humana. A investigação realizou uma investigação documental de artigos científicos e fontes estatísticas para conhecer alguns aspectos da cadeia de valor da soja, a sua importância e o desempenho do cultivo da soja no Equador, um país altamente dependente das importações deste importante alimento. Os resultados de vários estudos de investigação foram comparados através de uma tabela que mostra os benefícios de cada uma das estratégias apresentadas a fim de seleccionar as mais viáveis em termos de rendimentos, sustentabilidade e rentabilidade económica. Tendo em conta os resultados obtidos nos estudos comparativos, a aplicação de bactérias fixadoras de N (*Rhizobium*, *Azorhizobium* e *Bradyrhizobium*) pode ser proposta como a estratégia sustentável mais adequada, uma vez que favorece os rendimentos das culturas e também as condições físico-químicas dos solos cultivados, ao mesmo tempo que promete uma elevada rentabilidade económica. Recomenda-se também a realização de estudos experimentais com o objectivo de conceber fertilizantes orgânicos que reduzam os custos de produção e forneçam os nutrientes necessários para um melhor desenvolvimento das culturas de soja e, portanto, melhores resultados de produção, bem como a redução do impacto ambiental dos resíduos de fertilizantes na água e na atmosfera e a obtenção de uma boa rentabilidade económica. Também se recomenda que se façam esforços através de políticas apropriadas para aumentar a produção de soja no Equador e reduzir as importações.

Palavras-chave: soja, estratégia sustentável, rendimento das culturas, custos de produção, rentabilidade

1. INTRODUCCIÓN

La soya (*Glycine max*) está considerada uno de los mejores alimentos que existen. Es uno de los alimentos más estudiados por científicos desde hace décadas, debido a que se trata de una proteína completa –esto es, que contiene los nueve aminoácidos esenciales para el organismo–, lo que la convierte en un alimento muy importante para vegetarianos y veganos. Así, unos 100 gramos de habas de soja cocidas

aportan 127 kilocalorías, 11,12 gramos de proteínas, 5,67 gramos de grasa, 9,95 de hidratos de carbono y 3,8 gramos de fibra. Según De Luna (2006), la soya es la fuente de proteínas de origen vegetal más completa por el contenido de aminoácidos y por sus efectos reductores del colesterol y otros favorables a la salud humana. Son múltiples los alimentos, de bajo costo para los consumidores, que se derivan de la soya para la alimentación humana.

Destacan entre ellos frijol de soya, aceite de soya, leche de soya, harina de soya, salsa de soya, lecitina de soya, margarina de soya y otros. Por su parte, en la alimentación animal la soya es fundamental para la preparación de alimentos balanceados, dado su contenido de grasas y proteínas. Para su uso en la alimentación los factores antinutricionales y tóxicos deben ser destruidos previamente, pero sin duda la soya –principalmente bajo la forma de tortas– es un insumo fundamental para la producción de carne de aves y porcina.

La Encuesta de salud y nutricional de Ecuador (ENSANUT-ECU) de 2012 (Ministerio de Salud Pública, 2014) destacó la importancia nutricional de alimentos que utilizan como insumo la soya para su producción. Así, la carne de pollo era el tercer alimento en orden de importancia –después de arroz y pan– como aportador de energía alimentaria, con el 6,3% de las calorías totales. Por su parte, el pollo era el segundo aportador de proteínas, en tanto que huevos era el octavo y carne de cerdo el décimo. El Pollo aportaba el 18,2% del total de la disponibilidad de las proteínas, huevos el 4,2% y carne de cerdo el 2,9%. Todos estos alimentos requieren para su producción de tortas de soya, insumo básico para la producción de alimentos balanceados para animales.

En Ecuador la producción de soya no es suficiente para satisfacer la demanda doméstica. Además de que dicha producción es poco competitiva, actualmente se produce menos del 10% del consumo aparente (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). Por tanto, se requieren importaciones que representan la mayor parte de las disponibilidades para consumo animal y humano del país. La producción nacional se realiza en las provincias de Los Ríos, Guayas, Santa Elena, Bolívar, Loja y Morona Santiago, que corresponden a la denominada Altillanura. Para 2018 las cifras oficiales reportaron una producción nacional de soya de 62.058 t. y unas importaciones de 650.473 t, lo que significó que la producción nacional apenas aportó el 9,5% del consumo aparente (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). Igualmente, las estadísticas de FAOSTAT reportaron para 2019 importaciones de

112.000 t de aceite de soya con una producción nacional de apenas 7 t. Estas cifras muestran la alta dependencia de la soya importada que tiene Ecuador (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

De otro lado, en décadas recientes hay una preocupación mundial por las severas consecuencias que tiene sobre la salud humana, el medio ambiente, la biodiversidad y seguridad alimentaria el uso excesivo de plaguicidas sintéticos (Viera-Arroyo *et al.*, 2020). Adicionalmente, la agricultura mundial representa aproximadamente $\frac{1}{4}$ parte de las emisiones globales de gases de efecto invernadero –si se incluye el cambio de uso de la tierra–. Pero la agricultura no solo contribuye con los problemas ambientales al avance del cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la escasez de agua (Smith *et al.*, 2014, *apud* Carlisle *et al.*, 2019). También las prácticas actuales dejan a muchas comunidades vulnerables a los desastres relacionados con el clima, como *e.g.* los monocultivos altamente dependientes de insumos, con escaso o ningún margen para la resiliencia adaptativa. Por tanto, la agricultura mundial debe cambiar rápida y decisivamente hacia la sostenibilidad (Carlisle *et al.*, 2019). Todo ello refuerza la necesidad de adoptar prácticas más resilientes y ambientalmente sostenibles en las áreas agrícolas a escala global (De Freitas, Cerezini, Hungria y Nogueira, 2022). Destacan entre ellas la implementación de sistemas asociados de cultivos (en particular, en presencia de procesos de deterioro del suelo y disminución de la oferta hídrica), que además de contribuir con la biodiversidad coadyuva a minimizar los efectos de la erosión hídrica (Tamayo y Alegre, 2022).

Uno de los aspectos a mejorar es la productividad, esto es, la eficiencia en el uso de los recursos y aumentar la producción. Las nuevas tecnologías de producción y sus combinaciones de insumo-producto pueden utilizarse en estudios dirigidos a la exploración de opciones para sistemas de producción agrícola y uso de la tierra sostenibles (van Ittersum y Rabbinge, 1997). En el caso particular de cultivos como la soya, es indispensable adoptar prácticas agronómicas que sean amigables con el ambiente y que

permitan reducir la alta dependencia de las importaciones ecuatorianas del rubro. Además, dada la superficie sembrada de soya en Ecuador actualmente y con los rendimientos obtenidos (menos de 3 t/h), apenas se cubre menos del 10% de los requerimientos. Para 2018, se importaron más de 650.000 t, principalmente desde Estados Unidos, mientras la producción nacional apenas estuvo en el orden de las 62.000 t (Ministerio de Agricultura, 2019).

Un aspecto crucial es que los fertilizantes, según Cárdenas, Sánchez-Yáñez, Fariás-Rodríguez y Peña-Cabiales (2004), se han convertido en aliado para los productores, si se utilizan de manera razonada. No obstante, pueden causar severos daños al medio ambiente y pérdidas económicas cuando se usan sin ningún tipo de control. De allí la necesidad de disponer de diversas opciones amigables con el ambiente y que generen bajos costos para los productores, es decir, que sean económica y ambientalmente sustentables; que además les permitan alcanzar el máximo rendimiento de los cultivos. Dentro de estas alternativas están los bioplaguicidas, que se vienen utilizando a nivel mundial desde finales del siglo XIX. No obstante, en actualidad apenas representan un nicho muy reducido en el mercado mundial anual de pesticidas, siendo apenas cerca del 5% del mercado total de protección de cultivos (Cappa, Baracchi y Cervo, 2022).

Algunos estudios (e.g., Cajamarca, Baño-Ayala y Arboleda, 2022) proponen que uno de los principios de sostenibilidad en el sistema alimentario del Ecuador debe ser la gestión, el uso eficiente y conservación de recursos naturales, con el objetivo de erradicar la pobreza, dar soporte a la salud humana y ecosistemas y fortalecer el sistema educativo en todas las áreas del conocimiento; todo con el fin último de lograr el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos. Para que pueda ser efectiva la solución es necesario involucrar a todos quienes hacen vida en la sociedad, sin importar edad, ideales, origen o género. Todos deben ser participantes activos en el desarrollo de la nación y la protección del medio ambiente. En síntesis, la agricultura se enfrenta al desafío crítico de satisfacer una

creciente demanda de alimentos y de materias primas, pero al mismo tiempo debe preservar la salud de los ecosistemas y proporcionar medios de subsistencia a las sociedades agrarias en el contexto del cambio climático (Ray, *apud* Steffen *et al.*, 2015).

Abordar estos desafíos requiere una visión más amplia de los sistemas alimentarios, en la que es fundamental considerar los límites planetarios y sus efectos tanto a nivel global como local (*ídem*). En el caso particular del Ecuador, urge determinar estrategias que permitan cultivar la soya de manera sustentable, de modo particular en la Provincia de Esmeraldas. Se trata a través de su implementación, de mejorar la situación relativa a la seguridad agroalimentaria del país y de la localidad objeto de estudio, a la vez que se reduzca la dependencia de las importaciones de soya. El trabajo intenta dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿Cuál sería la estrategia sustentable que mejor se adapta a las condiciones ambientales de la provincia de Esmeraldas, Ecuador, para el cultivo de la soya? Para darle respuesta, se llevó a cabo una investigación documental de diferentes investigaciones y experimentos reportados en literatura con dicho cultivo, para sobre esta base formular una propuesta factible –desde el punto de vista agronómico y económico-financiero– de implementar en la región objeto de estudio. Este es el objetivo central del presente artículo.

2. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LA SOYA

Las evidencias de las que se dispone actualmente señalan al noreste de China como el punto de origen donde que la soya cultivada (*Glycine max*), que emergió como un cultivo domesticado alrededor del Siglo XI A.C. La dispersión de la soya de esta área hacia el Sur de China, Corea, Japón y sureste de Asia probablemente se llevó a cabo durante la expansión de la dinastía Chou, desde el siglo XI, hasta finales del segundo milenio A.C. (Soto, Suárez, Torres y Torres, 2001).

En Sudamérica, según los autores antes mencionados, la fecha más temprana del conocimiento de su introducción es en 1882, en Brasil, país en el que su producción se

expande constantemente. En 2019/2020 la producción mundial de soya alcanzó un promedio de 337 millones de toneladas, en la que Brasil (con 124 millones de t) superó a EE.UU. (con 96 millones de toneladas), tras décadas de haber sido el segundo productor mundial (Embrapa, *apud* Cnaan *et al.*, 2022), siendo Argentina el tercero en importancia (USDA, 2021). Se espera que la producción de soja en Brasil y en el mundo siga aumentando en la próxima década, alcanzando más de 140 y 406 millones de toneladas, respectivamente, para 2029 (OCDE/FAO, *apud* Cnaan *et al.*, 2022). En los últimos años ese aumento se explica –al menos en parte– por la elevada demanda de harinas vegetales que se emplean para la elaboración de suplementos alimenticios para animales, así como por el consumo per cápita de grano de soya y aceites vegetales en países como China e India (Flórez, Osorio, Medina, Jaramillo y Ortégón, 2021).

Paralelo a lo anterior, en los últimos años se han desarrollado diferentes programas de mejoramiento para el desarrollo de variedades de alto rendimiento, con un elevado contenido de aceite y proteínas. Se espera así mismo que las próximas décadas la demanda de proteína de soya continuará creciendo, tanto para abastecer los requerimientos en alimentación animal –para lo cual se destina cerca del 85% de la producción mundial, según Colombo, Ender, Santos y Chivanga (2019)–, como para consumo humano. En este último caso, la mayor parte es de origen animal –cerca del 62%–, con apenas 30% de la proteína total obtenida de fuentes alimenticias de origen vegetal (Singh y Krishnaswamy, 2022).

El sistema de producción de soya *Glycine max* (L.) Merrill en algunos países de Sudamérica se basa en la fijación biológica de nitrógeno –conocida como BNF, por sus siglas en inglés– en simbiosis con las cepas élite del hongo *Bradyrhizobium*, que proporciona casi todos los requerimientos de nitrógeno (N) del cultivo, alrededor de 83 kg por tonelada de granos (De Freitas *et al.*, 2022). Con esta simbiosis se consigue formar pequeños nódulos en las raíces. Para ser utilizada en terrenos que no han sido cultivados anteriormente con este rubro, se recomienda

inocular la semilla a utilizarse por hectárea con 500 g de la bacteria indicada. Posteriormente, en cada ciclo de siembra debe volver a inocular la semilla con 300 g. Las aplicaciones de fertilizantes a base de fósforo, potasio y el 50 % de la dosis del nitrógeno deben realizarse al voleo sobre la superficie del suelo e incorporarlos con el último pase de rastra; el 50 % restante del nitrógeno junto al azufre debe aplicarse en bandas, a los 15 o 25 días de edad del cultivo. Para el caso de siembra directa debe incorporarse con el mismo implemento de siembra en la hilera (Guamán *et al.*, 1996).

La Soya *Glycine max* (L.) Merrill pertenece a la familia *Fabaceae* (*Leguminosae*), planta herbácea anual cuyo ciclo productivo oscila de tres a siete meses y crece entre 40 y 100 cm, según el cultivar. El sistema aéreo de la planta, hojas, tallos y vainas son pubescentes, cuyo color de los bellos puede variar de rubio a pardo más o menos grisáceo. Las hojas son alternas, trifoliadas de color verde en estado vegetativo y en la madurez se tornan amarillas-carmelitas, mientras que el tallo es erecto y ramificado. La flor es perfecta (hermafrodita): se encuentra en inflorescencias racimosas axilares que varían en número; es amariposada, de color blanquecino o púrpura, dependiendo del cultivar (Guamán *et al.*, 1996; INIAP, 1996).

El fruto es una vaina dehiscente por ambas suturas de forma achatada, pubescente, con una longitud 2 a 7 cm y un diámetro entre 1 a 2,5 cm de color verde en la inmadurez, que se torna amarilla, gris o negra cuando está madura, cada fruto contiene de dos a tres semillas redondeadas, con un diámetro de 5 a 10 mm. El sistema radical es pivotante y puede alcanzar una profundidad de 15-30 cm, además es capaz de nodular en simbiosis con bacterias del género *Rizobium* (Mederos y Ortiz, 2021)

2.1. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

La soya, planta herbácea de ciclo anual, posee una gran variedad genética y características morfológicas debido a la amplia variedad que de ella se cultiva en el mundo. En cuanto a las características morfológicas de esta planta, dependiendo de la variedad, algunas pueden ser constantes mientras que otras varían. Tal y como lo establecen Guamán *et al.* (1996) en el Manual del cultivo de la soya, las más

importantes –en cuanto a las constantes–, destacan las siguientes (Figura N° 1):

- **Semilla:** consiste en un embrión protegido por una fina cubierta seminal o pericarpio. Esta la protege contra hongos y bacterias, antes y después de la siembra. Si la cubierta se resquebraja, la semilla tiene pocas posibilidades de desarrollarse y convertirse en una plántula sana. El embrión está compuesto por radícula, hipocótilo y epicótilo.

- **Raíz:** la radícula emerge de una hendidura en la cubierta seminal, cerca del micrópilo y comienza a crecer hacia abajo uno o dos días después de la siembra formando la raíz principal. Posteriormente inicia el desarrollo de raíces secundarias para luego emerger de estas raíces terciarias. De la parte

inferior del hipocótilo brotan raíces adventicias, con crecimiento continuo hasta el llenado de las semillas, para finalmente cesar poco antes de que la semilla alcance la madurez fisiológica.

- **Tallo:** el desarrollo de la parte aérea de la planta comienza con la emergencia del hipocótilo del suelo y termina con la formación de la semilla. Cuando las condiciones de profundidad, humedad y temperatura son ideales, la plántula emerge a los cinco días de haber sido sembrada. La altura de la planta está determinada por el número de nudos y entrenudos.

- **Hojas:** las hojas son opuestas y están insertas en el nudo inmediatamente superior a los cotiledones; son llamadas primarias o unifoliadas. Las restantes hojas, tanto las del

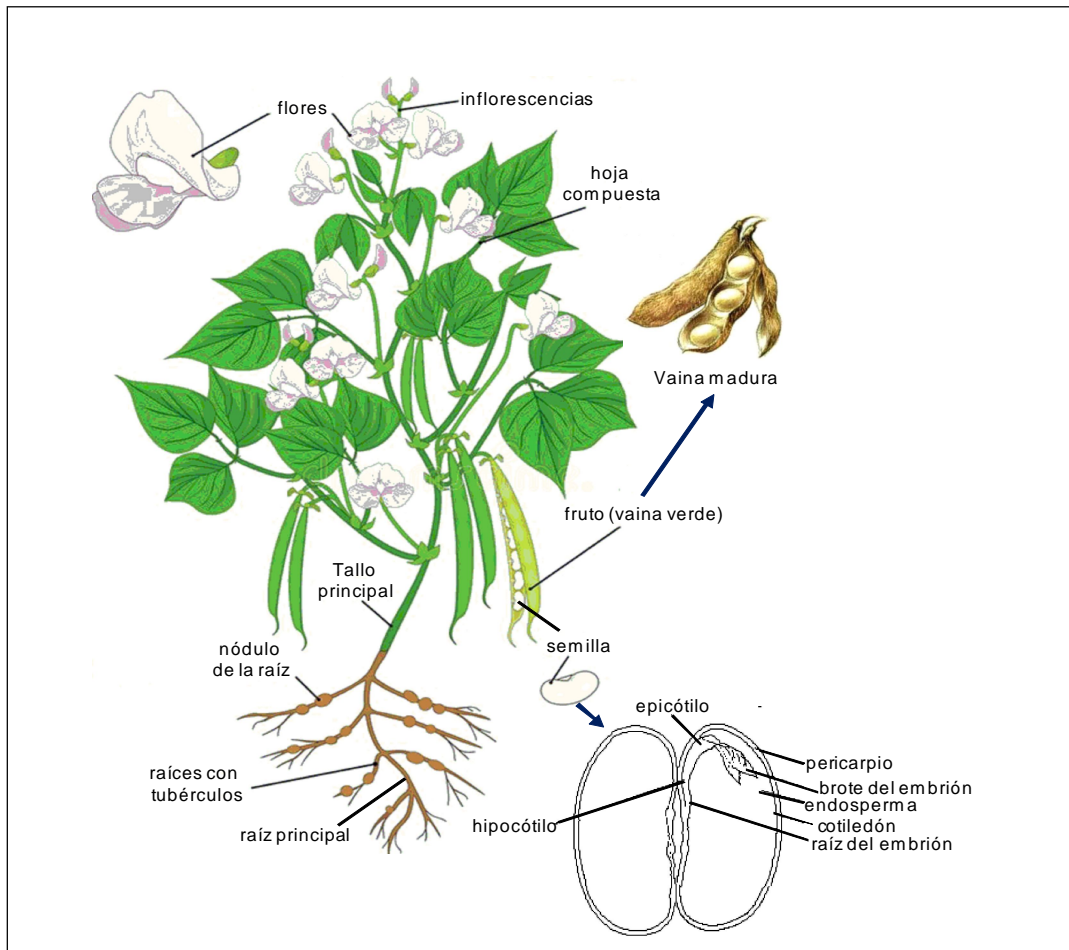


Figura 1. Estructura de una planta y semilla de soya. Fuente: adaptado de Havryliuk (2022)

tallo principal como las de las ramificaciones son trifoliadas y en algunos casos presentan cuatro o cinco foliolos. Están dispuestas en forma alterna.

- Flores: el inicio de la floración de un cultivo de soya depende de la variedad, temperatura y el fotoperiodo. Las flores aparecen en las axilas de las ramificaciones y/o raquis de las hojas, en racimos compactos o flores esparcidas en racimos largos. El número de flores por racimo puede ir de 5 a 10. La flor de soya mide de 6 a 7 mm de longitud. Es una especie autógama, en la que la polinización cruzada no sobrepasa el 1%.

- Fruto: el fruto es una vaina o legumbre, que pierde su color verde a medida que se presenta la maduración y dependiendo de la variedad. Su color puede ser amarillo claro, amarillo grisáceo, castaño o negro. La forma de las vainas puede ser recta o ligeramente curvada. El largo varía de 2 a 7 cm, con un diámetro de 1 a 2,5 cm y el número de semillas de 1 a 5 por vaina.

Por su parte, el desarrollo y crecimiento de la planta de soya puede ser dividida en dos fases. La primera es la vegetativa, que comprende desde el momento de la germinación de la semilla hasta la aparición de los primeros botones florales. Sigue luego la reproductiva, que comienza con la aparición de los primeros botones o racimos florales y termina cuando el grano alcanza el grado de madurez necesario para la cosecha.

Esta información se ve reflejada en distintas publicaciones emitidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021), donde se expresa que se ha incrementado en los últimos cinco años la producción mundial de cereales, llegando a situarse en 2.792 millones de toneladas. Sin embargo, aún persiste la necesidad de continuar con investigaciones que aporten al desarrollo sostenible en procesos de producción, siendo la soya un complemento a los cereales debido a su aporte nutricional con proteínas y su composición de aminoácidos.

Tabla 1
Etapas de desarrollo de la soya durante la fase vegetativa

Etapas fase vegetativa*		
Códigos	Nombres	Descripción
Vg	Germinación	La semilla está en condiciones favorables para iniciar la germinación
Ve	Emergencia	Los cotiledones del 50% de las plántulas aparecen a nivel del suelo
Vc	Cotiledonar	Los bordes de las hojas cotiledonar no se tocan.
V1	Hojas primarias	Nudo 1. Hojas unifoliadas completamente desenvueltas. Márgenes de los foliolos del nudo inmediatamente superior no se tocan
V2	Primera hoja trifoliada	Nudo 2. Hoja trifoliada encima de las unifoliadas completamente desenvuelta. Márgenes de la hoja trifoliada del nudo inmediatamente superior no se tocan
V3	Segunda hoja trifoliada	Segunda hoja trifoliada completamente desenvuelta originada en el nudo 3
Vn	n. Hoja trifoliada	n. Hoja trifoliada completamente desenvuelta originada en el nudo X

Nota: (*) Cada una se designa mediante un código conformado por una letra y un número. La letra «V» en este caso indica que se trata de la fase vegetativa, en tanto el número corresponde a la posición en la etapa del ciclo de vida de la planta. Fuente: INIAP(1996, p. 24)

Según Sánchez, Vayas y Mayorga (2021, p. s/n), «(...) actualmente la superficie sembrada de soya en el Ecuador es de 27.960,01 hectáreas, lo que representa apenas el 5,7% de la superficie total que se requiere para cubrir la demanda nacional». No obstante, tal y como plantean García, Sánchez y Sánchez *et al.* (2014) que la insatisfacción del mercado del producto representa una oportunidad para incentivar el incremento de superficies destinadas al mismo, así como para mejorar los rendimientos. Esta última constituye una postura que desde el Ecuador se puede adoptar para introducir mejoras en relación con el desarrollo de la soya en sus diferentes fases de producción.

2.2. REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS
Para un normal desarrollo y producción, el cultivo de la soya necesita que los principales

agentes ecológicos se presenten dentro de un rango aceptable, de acuerdo con sus requerimientos. Resumidamente, estos son:

- **Humedad:** para germinar, la semilla de soya requiere un contenido de humedad cercano al 50% de su peso. Los niveles excesivos de humedad del suelo no favorecen la germinación debido a la poca disponibilidad de oxígeno. Por el contrario, crean un ambiente favorable para la aparición de enfermedades, tanto en la semilla como en el sistema radicular. En este factor es necesario subrayar adicionalmente la advertencia hecha por De Freitas *et al.* (2022): a pesar de los avances tecnológicos alcanzados en el sistema productivo, la irregularidad ocasional de las lluvias durante la temporada de cultivo puede perjudicar el proceso de fijación del nitrógeno y, por tanto, limitar el rendimiento del cultivo de soya. Esto es particularmente relevante en

Tabla 2

Etapas de desarrollo de la soya durante la fase reproductiva

Etapas fase vegetativa*		
Códigos	Nombres	Descripción
R0	Prefloración	Los primeros botones o racimos han aparecido en el 50% de las plantas
R1	Inicio de la floración	Flor abierta en cualquier nudo del tallo central
R2	Inicio de formación de vainas	Flor abierta en uno de los nudos superiores
R3	Inicio de formación de vainas	Vainas de 5 de largo en uno de los cuatro nudos superiores del tallo central
R4	Completa formación de vainas	Vainas de 2 cm de largo en cualquiera de los 4 nudos superiores
R5	Inicio de formación de semillas	Vainas con los granos de aproximadamente 3mm de tamaño adheridos a cuatro nudos superiores del tallo principal
R6	Completa formación de semillas	Vainas con granos verdes que llenan la cavidad de la vaina adheridos a cuatro nudos superiores del tallo principal
R7	Inicio de maduración	Inicio de amarilleamiento de vainas, con 50% de hojas amarillas, maduración fisiológica
R8	Maduración completa	Aproximadamente el 95% de las vainas de color amarillo o pardo, la semilla tiene consistencia dura y ya no es posible hacer incisión con la uña; madurez para cosecha

Nota: (*) La letra «R» en este caso indica que se trata de la fase reproductiva, en tanto el número corresponde a la posición en la etapa del ciclo de vida de la planta. Fuente: INIAP (1996, p. 25)

países donde la mayoría de los sistemas de cultivo son de secano.

- Temperatura: la soya se puede cultivar de manera exitosa a diferentes temperaturas, las cuales varían entre los 5 y los 40°C. Sin embargo, la máxima germinación ocurre a una temperatura constante de 30°C, mientras que a 20°C se produce un retraso en estos procesos.

- Intensidad de luz: la luz es una fuente importante de energía para el proceso de la fotosíntesis. En la soya se ha encontrado que cada hoja se satura de luz a 23.680 lux, que es alrededor del 20% de la luz del día. De hecho, la radiación solar es la que controla el paso del periodo vegetativo a la floración, así como la velocidad de crecimiento durante el período de maduración (Soto *et al.*, 2001).

- Longitud del día: el principal efecto de la duración del día en el desarrollo de la planta es la inducción a la floración. El fotoperiodo afecta la eficiencia de la producción de la vaina y la velocidad con que se llena la semilla.

- Suelo: la soya prospera bien en una gran variedad de suelos, aun en aquellos relativamente pobres, si se inocula la semilla y se aplican fertilizantes. Sin embargo, los suelos muy arenosos o arcillosos no son adecuados para el cultivo de la soya. De hecho, la productividad más alta se alcanza en suelos franco-arenosos, bien drenados y con mediana fertilidad, ya que estos permiten que la planta logre un buen desarrollo del sistema radicular y por ende un buen desarrollo del cultivo. Flórez *et al.* (2021) destacan que el óptimo crecimiento de la planta tiene lugar en regiones cálidas y tropicales. La soya se adapta a un amplio rango de latitudes, comprendidas entre los 0 y 30 grados, así como de altitudes, que van desde el nivel del mar hasta los 1.200 m.s.n.m.

3. ANTECEDENTES SOBRE EL CULTIVO SUSTENTABLE DE LA SOYA Y SU VIABILIDAD ECONÓMICA

La finalidad de la agricultura sustentable es reducir la pobreza y brindar seguridad alimentaria desde el campo hacia las ciudades, asegurando simultáneamente la protección del medio ambiente (Viera-Arroyo *et al.*, 2020). Para ello se requiere poner en práctica una producción sostenible, adaptando los cultivos a los cambios climáticos y restaurar los recursos

naturales degradados –agua y suelo–, para así poder cumplir con las demandas de consumo de los productos (Mayorga, 2015). Dicha terminología resulta importante considerando las condiciones ambientales actuales, las cuales se han visto alteradas como efecto del calentamiento global.

Para demostrar la posibilidad de cultivar soya de forma agroecológica, Carrera (2016) publicó los resultados obtenidos en un trabajo de campo realizado en la Provincia de los Ríos (Ecuador) en la temporada seca del año 2014, donde se prepararon cultivos de soya, tanto de forma convencional como agroecológica. Se demostró que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ambas formas de cultivo. Sin embargo, desde el punto de vista ambiental el experimento reveló que se puede cultivar soya de forma agroecológica, sin que esto signifique un aumento en los costos de producción para los agricultores. Estudios como este motivan a los productores a investigar y aplicar estrategias sustentables que apoyen al medio ambiente y les permitan conservarlo sano y en las mejores condiciones para el desarrollo de la humanidad, a la par que se obtienen buenos resultados económicos.

Choez-Quiroz, Paz y Valdes-Carmenate (2017) llevaron a cabo un estudio para diagnosticar el nivel sociocultural del cultivo de soya en San Juan de Pueblo Viejo (Ecuador). Sus principales conclusiones revelaron que los productores de soya tenían un nivel educacional entre secundario y superior, siendo la mayoría de ellos son hombres, quienes viven en los terrenos donde poseen el cultivo. Algo que llamó la atención de los investigadores fue el desconocimiento de las tecnologías que pueden ser aplicadas por los productores a sus respectivos cultivos.

Por su parte, la Universidad de Guayaquil (Ecuador) ejecutó pruebas de verificación de estabilidad en siete nuevas líneas de soya desarrolladas y una variedad comercial como testigo. También se realizó el estudio de la sustentabilidad de las Unidades Productivas Agropecuarias que realizan la explotación del cultivo, de acuerdo a la investigación realizada por Painii-Montero, Camarena-Mayta, Santillán-Muñoz y Garcés-Fiallos (2018). Entre los años 2015, 2016 y 2017 se sembraron ocho

ensayos en ambientes representativos de la provincia de Los Ríos (cantones Vinces, Pueblo Viejo, Babahoyo y Quevedo), utilizando el diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con el análisis de la varianza y a comparaciones de Tukey aplicado a las variables (p. 2), el 65% obtuvo un Indicador Sociocultural (ISC) >2 y el 99% un indicador Ecológico (IE) >2. El 88% obtuvo un Índice de Sustentabilidad General (IS Gen) >2, con lo cual se destaca la sustentabilidad del sistema productivo de soya bajo el método de análisis multidimensional asumido.

En el estudio publicado por Silva, Sacco y González, J. (2020) acerca de los impactos socioambientales de la expansión de la soya en el sur de Brasil se encontraron algunos aspectos que afectaban de manera negativa al ambiente, como por ejemplo el uso de aumentado de sustancias agrotóxicas, los cambios visibles en el paisaje, destrucción de los campos, la biodiversidad y los recursos hídricos. Por su parte, desde el punto de vista social se observó el cambio de la cultura asociada a la ganadería extensiva, haciendo uso de estrategias sostenibles para el manejo de los recursos naturales. Los resultados conducen de manera obligatoria a la necesidad de establecer medidas sustentables que apoyen la producción de la soya y al mismo tiempo resulten amables con el medio ambiente; que mantengan un equilibrio entre la producción de alimentos como la soya y la salud ambiental, necesaria para desarrollar las actividades cotidianas de los ciudadanos.

Díaz-Franco, Alejandro-Allende, Cisneros-López, Espinosa-Ramírez y Ortiz-Cháirez (2021) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de usar alternativas de fertilización biológica (FB) en el cultivo de soya con la variedad Huasteca 400. Tomando en cuenta el índice SPAD, en las etapas V1, V5 y R2, altura de planta en V5 y R5, el rendimiento, porcentaje de aceite y proteína del grano se cuantificaron diversos indicadores relativos a la cosecha. Por su parte, el análisis económico de la producción se determinó por la rentabilidad. No hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos alternativos y el testigo. Por otra parte, la combinación entre *B. japonicum* y *R. intraradices* demostró la mejor

rentabilidad con una relación beneficio-costo de 2,6 y una ganancia de USD 11.890 por hectárea. La conclusión del experimento es que esta representa una buena opción para obtener buena y mayor rentabilidad, a la par que se disminuye la contaminación en el entorno agroecológico.

En los terrenos del cantón Alfredo Baquerizo Moreno, provincia del Guayas (Ecuador), Sánchez (2021) evaluó la comparación de las siete dosis de tres diferentes bioestimulantes (como ExpertGrow, Seaweed Extract, Eco-Hum Ca B), recomendadas en el rendimiento del cultivo de soya [*Glycine max* (L) Merrill]. El propósito era incrementar la producción de soya en la zona agrícola estudiada, mediante la aplicación complementaria de bioestimulantes. Para esta investigación se tuvo en cuenta: la altura de planta, número de ramas por planta, días a la floración, número de vainas por planta, peso de 100 semillas, rendimiento (kg/ha) y análisis económico. Los resultados más relevantes se obtuvieron en el tratamiento T1, con la aplicación de ExpertGrow a dosis de 50 cc. Le seguía el T4, en el que se aplicó Seaweed Extracta dosis de 200 cc como complemento en la fertilización. De igual manera, desde el punto de vista económico los dos tratamientos (T1 y T4) tuvieron una mayor rentabilidad que los restantes. Las aplicaciones de ExpertGrow tuvieron incidencia en el rendimiento de la soya, utilizando las condiciones de manejo adecuadas.

De otro lado, las poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya en la zona de Los Ríos (Ecuador) analizadas por Palma (2022) determinaron que para mejorar la disponibilidad del nitrógeno es necesario emplear microorganismos fijadores de nitrógeno. Dentro de ellos se distinguen dos grupos: i) los simbióticos, que son los microorganismos que fijan nitrógeno en asociación con plantas –también llamados rizobios–, que colonizan y forman nódulos en las raíces de las plantas donde el nitrógeno gaseoso se reduce a amonio; y, ii) los de tipo asimbióticos –o de vida libre–, que proporcionan al medio compuestos nitrogenados como amonio, aprovechados

por los vegetales; la asociación simbiótica de Nitrógeno en el cultivo de soya permiten mantener la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. De esta manera se benefician no solo a los rendimientos del cultivo, sino también a las condiciones físico-químicas de los suelos cultivados.

Franco y Vallejo (2022) en su proyecto se enfocaron en analizar la información sobre el aporte agroecológico para alcanzar la seguridad alimentaria en el Ecuador. Tomaron como base el año 2015, hallando factores tanto positivos como negativos que se desarrollan desde años anteriores, siendo estos últimos un problema a tomar en cuenta. La investigación tuvo como objetivo ofrecer información relevante de la agroecológica, enfocada hacia la seguridad alimentaria, soberanía y disponibilidad alimentaria, los actores principales, los programas y aplicaciones que se dan en el país. Se trató de comprender mejor la aplicabilidad de la agroecología, cómo se instauró en el país y cómo esta se ha involucrado en la seguridad alimentaria nacional. También perseguía conocer cuáles son los grupos beneficiarios y de qué manera han aplicado la agroecología. Adicionalmente la investigación se propuso comparar la experiencia mundial con la del país.

La sustentabilidad de la autosuficiencia alimentaria sostenible en la provincia de Esmeraldas (Ecuador) fue evaluada por Castro, Morales, Castellanos, Pacheco y Macía (2022), mediante la caracterización, medición y evaluación de indicadores relacionados con la calidad de los suelos y con las prácticas para su conservación –bajo la premisa que la tierra es el medio de producción fundamental de la agricultura–. La investigación reveló que la sustentabilidad en la provincia estudiada se califica como de nivel medio, debido a la erosión de los suelos dedicados a los tres cultivos seleccionados –i.e., arroz, banano y maíz–. Se encontró que el porcentaje de superficie afectada en tales cultivos estaba por encima del 50% –arroz 75,6 %, banano 55,6% y maíz 50,3 %–. También se encontró una baja fertilidad –respectivamente, para los cultivos citados, de 57,1%, 49,1% y 47,2–, al igual que severas limitaciones en el cumplimiento

de las prácticas para conservar las funciones productivas del suelo.

Los estudios mencionados anteriormente revelan que, en efecto, sí existe la intención de mejorar la sustentabilidad del cultivo de soya en Ecuador. Sin embargo, también evidencian que es necesario establecer medidas que permitan aumentar la producción sin causar daños al ambiente, al tiempo que garantice rentabilidad. Esto brindará oportunidades para continuar la producción, mejorando así la calidad y rendimiento de las cosechas, para finalmente alcanzar los objetivos de desarrollo y sustentabilidad establecidos a largo plazo.

4. LA SOYA Y SU IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE ECUADOR

La FAO (1996) en la Cumbre Mundial de la Alimentación acordó que «La seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana» (FAO, 2011, p. 1). Por su parte, Ecuador es un país con indicadores de seguridad alimentaria que han venido mejorando en el tiempo. Según la FAO, UNICEF, WFP, IFAD y WHO (2022), la prevalencia de subalimentación afectó en promedio para 2004-2006 al 22,4% de la población –unos 3,1 millones de habitantes–, pero para 2019-2021 el porcentaje de la población en condición de subnutrición disminuyó al 15,4% –i.e., 2,7 millones de habitantes–. Además, en la última hoja de balance de alimentos disponible para el país (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021) se concluye que:

- En Ecuador, para 2019 la disponibilidad para consumo humano (DCH) de calorías/persona/día era de 2.406⁶, con tendencia creciente entre 2002 y 2019. Esta disponibilidad indicaba que se suplía satisfactoriamente «(...)

⁶ Calero (2011) estimó los requerimientos mínimos de energía alimentaria en 2.141 calorías/persona/día (kilocalorías).

el promedio de necesidades calóricas por edad y sexo, considerando 24 de los 60 productos primarios» (p. 10).

- La DCH de proteínas medida en g/persona/día fue en 2019 de 75 (g/persona/día) y su tendencia también fue creciente entre 2002 y 2019. Por lo que se concluía que

En el marco de la ingesta recomendada para Ecuador, según rangos de edad y sexo, se muestra que para el año 2019 el disponible de proteínas es de 75(g/persona/día), cantidad que cubre los requerimientos diarios recomendados para todos los segmentos de la población. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021, p. 12)

- Las DCH de grasas, carbohidratos, hierro, vitamina A, y zinc mostraban tendencias crecientes entre 2002 y 2019.

Como ya se ha mencionado, la soya es utilizada como materia prima principal para la producción de aceite vegetal de soya, para la producción de tortas de soya, insumo fundamental para la producción de carne de aves, carne porcina y huevos. Todos estos alimentos son importantes aportadores de energía alimentaria (calorías) y proteínas. De allí que la soya tiene gran importancia para la seguridad alimentaria del Ecuador. No obstante, actualmente la soya es de procedencia fundamentalmente importada, pues Ecuador no ha desarrollado competitividad para su producción. La nación podría hacerlo en el futuro, si encuentra formas eficientes de producirla sustentablemente y garantizando una ganancia aceptable para los productores y procesadores industriales de soya.

Además de su contribución a la seguridad alimentaria del Ecuador, la producción de soya debe contribuir al desarrollo sustentable. Sachs (2015) plantea que el desarrollo sustentable es un enfoque normativo y holístico que busca alcanzar objetivos y metas sociales, económicas y ambientales. Concretamente, el autor señala que los cuatro objetivos del desarrollo sustentable son la prosperidad económica, la inclusión y la cohesión social, la sustentabilidad ambiental y lograr una buena gobernanza de los actores más importantes

como son el Estado y las empresas. Por tanto, el desarrollo sustentable debe lograr un mundo el progreso económico beneficie a todos –i.e., que sea inclusivo–, al tiempo que la pobreza extrema se elimina, se estimula la confianza mediante políticas que fortalecen las comunidades y se protege al ambiente de las acciones humanas que inducen a la degradación (FAO, 2014; Sachs, 2015).

5 METODOLOGÍA

Para la siguiente etapa se realizó una investigación documental-descriptiva (Bernal, 2010; Hernández, Fernández y Baptista, 2014), puesto que «consiste en un análisis de la información escrita sobre un determinado tema, con el propósito de establecer relaciones, diferencias, etapas, posturas o estado actual del conocimiento respecto del tema objeto de estudio» (Bernal, 2010, p. 111). Este último plantea que las investigaciones descriptivas «muestran, narran, reseñan o identifican hechos, situaciones, rasgos, características de un objeto de estudio, o se diseñan productos...»

El objeto de estudio fue la provincia de Esmeraldas (Ecuador), tomando como base las investigaciones realizadas en relación con el cultivo de soya, seguridad agroalimentaria y desarrollo sustentable en esta nación sudamericana. A partir de una revisión sistemática de fuentes secundarias, a fin de seleccionar –sobre la base de los resultados obtenidos por los distintos investigadores identificados–, la estrategia para la producción de soya sustentable y al mismo tiempo alcanzar una rentabilidad económico-financiera. El fin último es contribuir a aumentar la producción de soya en Ecuador mediante prácticas agronómicas sustentables y con aportes a la seguridad agroalimentaria de la población.

La información fue sistematizada a través de la revisión documental de algunos artículos científicos. La misma se presenta mediante dos cuadros comparativos en los que se destacan los beneficios de cada una de las estrategias investigadas, para finalmente seleccionar aquella que mejor se adapte a las condiciones ambientales y económicas de la provincia objeto de investigación.

6. ALGUNAS INVESTIGACIONES SOBRE LA SOYA CON ESTRATEGIAS SUSTENTABLES Y RENTABILIDAD ECONÓMICA PARA SU PRODUCCIÓN

A continuación, se presenta una síntesis con los principales hallazgos de investigaciones sobre el cultivo sustentable y rentable de soya. Del análisis efectuado y tomando en cuenta y de cara a la formulación de recomendaciones para el caso de la provincia de Esmeralda (Ecuador), se destacan las siguientes:

- La soya es una planta herbácea anual con un ciclo de producción con una duración de entre 3 y 7 meses, que debe ser considerada para ser cultivada en los meses de menor pluviosidad del año. Cultivarla de esta manera permitirá reducir las probabilidades de sufrir pérdidas por parte de los productores. No obstante, es necesario conocer de manera detallada las características físicas de las diferentes variedades que van a ser cultivadas y los requerimientos minerales y ambientales para alcanzar el mayor rendimiento del cultivo.

- En los experimentos y estudios considerados en la presente investigación resultó relevante comparar los resultados de cada uno de los estudios identificados en el arqueo bibliográfico, para determinar cuáles estrategias sustentables serían las más adecuadas para aplicar en el proceso de cultivo y producción de soya. Así, seguidamente se comparan las estrategias analizadas y sus resultados agronómicos, económicos y/o ambientales (Tabla N° 3).

Ingentes ensayos realizados para comprobar la eficiencia productiva de esta especie han llevado a considerarla como un gran aporte económico para el Ecuador. Sin embargo, existen investigaciones que establecen que el cultivo de la soya agrega valor más allá de sus propiedades nutricionales, ya que toda la cadena de valor podría potenciar la economía de este cultivo para el Ecuador y generar un apoyo oportuno a los productores y comerciantes según la experiencia planteada por García *et al.* (2018), en sus investigaciones donde señalan que «el mapeo de la cadena de valor hizo visible la dependencia de los productores de su relación con los proveedores, distribuidores e industria» (p. 129).

De acuerdo con el análisis realizado y teniendo en cuenta la ausencia de información desde el punto de vista económico de algunos de los experimentos seleccionados, se puede concluir que la investigación sobre la fertilización biológica, orgánica y mineral reducida en soya (Díaz *et al.*, 2021) debe ser seleccionada como la estrategia sustentable más adecuada para ser aplicada en la región estudiada. Esta decisión se fundamenta en el bajo impacto ambiental que presenta y que su relación beneficio-costos es la más rentable para los productores. Así mismo, los resultados evaluados revelaron la existencia de ingente información sobre la planta de soya, sus características y requerimientos para obtener altos niveles de producción desde el punto de vista agronómico. Sin embargo, la actualización, constante revisión y análisis de las diferentes variedades establecidas son necesarias para el diseño de nuevas variedades que se adapten a los diferentes suelos existentes en la provincia de Esmeraldas y en la República del Ecuador.

Por otra parte, de acuerdo con el análisis de distintos estudios comparados, el uso de fertilización biológica, orgánica y mineral reducida en soya emergen como una estrategia sustentable y económicamente rentable. En este caso los efectos esperados sobre el desarrollo de la planta y sobre los niveles de contaminación ambiental serían los más adecuados, dado que no aumentan los costos de producción de manera significativa ni tampoco ocasionan daños al suelo o al agua – como sí ocurre en el sistema convencional, debido al uso de fertilizantes químicos aplicados—. En cuanto a la seguridad agroalimentaria, la soya es una planta que puede ser producida de manera sustentable y rentable en Ecuador. También debe tenerse en cuenta que como alimento directo se usa principalmente para la producción de aceite vegetal, importante fuente de energía alimentaria, e indirectamente, las tortas de soya se usan en la alimentación animal para la producción de carne de aves y porcina, importantes fuentes de proteínas. De manera tal que la mayor producción sustentable de soya en Ecuador, con eficiencia económica (rentable) y que permita sustituir importaciones podría asegurar un mayor suministro de soya

Tabla 3

Comportamiento de la soya ante estrategias/técnicas de cultivo sustentables

Investigación	Resultados
Efecto de tres bioestimulantes como complemento a la fertilización edáfica en el cultivo de soya (Sánchez, 2021)	El tratamiento más eficaz para aumentar el rendimiento del cultivo de soya es aplicar ExpertGrow a T1 a una dosis de 50 cc, seguido del T4 para aplicar Seaweed Extract a una dosis de 200 cc, ya que gracias a estos bioestimulantes se llegó a obtener una muy buena producción y ayudaron en el desarrollo y formación del grano de soya
Poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya (Palma, 2022)	La asociación simbiótica de nitrógeno en el cultivo de soya permite mantener la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, beneficiando, no sólo a los rendimientos del cultivo, sino también a las condiciones físico-químicas de los suelos cultivados. Las bacterias fijadoras de nitrógeno son <i>Rhizobium</i> (nodulan en raíces de leguminosas), <i>Azorhizobium</i> (nódulos en tallos y raíces) y <i>Bradyrhizobium</i> (nodula raíces de soya)
Estabilidad de líneas de soya (<i>Glycine max</i> L. Merrill) y su contribución a la sustentabilidad del cultivo en el Ecuador (Montero, 2018)	Respecto a la evaluación de la estabilidad de los genotipos de soya, la línea So ITAV 7 obtuvo el mayor rendimiento de grano, en comparación al resto de genotipos y fue el más estable Referente a la evaluación de la sustentabilidad de las Unidades Productivas, que realizan la explotación de soya, se encontró que las UPAs tuvieron un Índice de Sustentabilidad General (IS GEN) >2, lo que da cuenta de la sustentabilidad del sistema, dentro del tiempo en que se desarrolló la investigación
Fertilización biológica, orgánica y mineral reducida en soya (<i>Glycine max</i> L.) Díaz-Franco <i>et al.</i> (2021)	El contenido de clorofila de acuerdo al índice SPAD, la altura de planta, el rendimiento y el contenido de aceite y proteína del grano de soya, no fueron afectados con la combinación de fertilización biológica y mineral reducida. Además, es importante resaltar que el tratamiento de la semilla con los inoculantes se realiza el mismo día de la siembra

Fuente: elaboración propia, con base en Sánchez (2021), Palma (2022), Montero (2018) y Díaz-Franco *et al.* (2021)

nacional, lo que puede consecuentemente mejorar la autonomía del sistema alimentario de Ecuador y el ahorro de divisas.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La soya representa actualmente una de las fuentes de proteína vegetal más importante en las últimas décadas, con creciente importancia en el consumo humano directo y por tanto sobre la alimentación y seguridad alimentaria al nivel mundial. No obstante, Ecuador no

figura como país productor de importancia, sino que por el contrario es un importador neto del rubro, a pesar de disponer de tierras que podrían destinarse a dicho cultivo con prácticas agronómicas sustentables y rentables económicamente. Además, la soya suele asociarse en décadas recientes como un monocultivo, altamente perjudicial al medio ambiente, por cuanto los sistemas de producción dominantes tanto a nivel mundial como en el continente americano son esencialmente de monocultivo y altamente

Tabla 4

Análisis económico de las estrategias/técnicas sustentables

Investigación	Resultados
Efecto de tres bioestimulantes como complemento a la fertilización edáfica en el cultivo de soya. (Sánchez, 2021)	En el tratamiento T1 se aplicó el bioestimulante ExpertGrow en dosis de 50 cc y se obtuvo el mayor beneficio económico alcanzando una rentabilidad de US\$ 1.169,36 y un beneficio neto de \$2,29; siendo superior estadísticamente al T2, T3, T4, T6 y T7, seguido al tratamiento T5 el tratamiento en cual se aplicó el bioestimulante Eco – Hum Ca B en dosis de 100 cc lo que alcanzó un beneficio económico de US\$ 1.139,59 dólares y un costo/beneficio de US\$ 2,26
Fertilización biológica, orgánica y mineral reducida en soya (<i>Glycine max</i> L.). (Díaz-Franco <i>et al.</i> , 2021).	La inoculación conjunta de <i>B. japonicum</i> y <i>R. intraradices</i> (Cell-Tech + HMA INIFAP), demostró ser el manejo más eficiente y rentable, con una relación beneficio-costo de 2.6. En esta investigación, la agricultura orgánica demuestra ser significativamente más rentable (22 a 35% valores actuales netos), con relación de beneficio-costo más alto (20 a 24%), que la agricultura convencional

Fuente: elaboración propia, con base en Sánchez (2021) y Díaz-Franco *et al.* (2021)

demandantes de agroquímicos. Frente a esta realidad, el presente artículo tuvo como objetivo identificar posibles sistemas de producción y estrategias productivas sustentables y rentables económicamente, que pudieran ser adoptadas en el Ecuador (en particular, en la provincia de Esmeralda), a los fines de aumentar la oferta doméstica del rubro y coadyuvar al mismo tiempo a mejorar los ingresos de los productores y a la seguridad alimentaria de su población.

De hecho, producción de soya en el Ecuador hasta ahora es insuficiente para cubrir los requerimientos de la demanda nacional, pues se produce menos del 10% del consumo aparente y una importación anual cercana a las 650.000 t, que implica una importante cuantía de divisas para hacerlo. De allí la necesidad de encontrar métodos de producción que sean sustentables, permitan aumentar la producción, obtener rentabilidad económica, sustituir importaciones y contribuir a la seguridad alimentaria nacional. La soya en Ecuador, al igual que en otros países, es un insumo importante para la producción de alimentos aportadores de energía alimentaria y proteínas de origen animal. Destacan entre ellos el aceite vegetal –aportador de energía alimentaria– y

las tortas de soya –para la producción de alimentos balanceados para animales–, lo que permite a su vez producir carne de aves y huevos –aportadores clave de proteínas–.

En cuanto a las estrategias susceptibles de aplicación para el cultivo de soya de manera sustentable, en este trabajo fueron comparados diferentes estudios experimentales en los cuales se habían estudiado la eficiencia de diferentes estrategias y/o sistemas de cultivo. Del examen efectuado se concluye que la más adecuada y favorable para el Ecuador, por cuanto contribuye a la sustentabilidad y genera rentabilidad económica, sería la aplicación de fertilización biológica, orgánica y mineral reducida en soya (reportada por Díaz-Franco *et al.*, 2021). No obstante, no se descarta la posibilidad de realizar nuevas investigaciones en las que se prueben nuevas estrategias que posiblemente resulten más efectivas, sustentables y económicamente rentables.

A partir de los hallazgos de la investigación, algunas recomendaciones son necesarias de implementar por parte de los productores agropecuarios, los hacedores de políticas y los distintos organismos de apoyo al sector. Las mismas podrían ayudar a delinear una estrategia sustentable y rentable para el cultivo

de soya en la provincia de Esmeralda, Ecuador y al mismo tiempo podrían contribuir a mejorar la seguridad alimentaria y nutricional y a la sustitución de importaciones con ahorro de divisas. Estas recomendaciones, grosso modo, son: i) mantener en constante observación las características de las diferentes variedades de soya que empleen en las explotaciones de la provincia, para identificar cuál de ellas se adapta mejor a cada zona de la provincia de Esmeraldas y, en general, de la República de Ecuador; ii) realizar estudios experimentales adicionales, que permitan identificar fertilizantes orgánicos alternativos, que disminuyan los costos de producción y aporten los nutrientes necesarios para un mejor desarrollo de la planta de soya con mejores resultados de producción; ello, además de reducir el impacto de los residuos de los fertilizantes tanto en el agua como en la atmósfera; y, iii) aplicar combinaciones de fertilizantes biológicos/orgánicos con reducidas cantidades de agroquímicos, que se traduzcan tanto en una reducción del uso de agroquímicos como de los costos de producción e impactos ambientales negativos. Además de mejorar los resultados en la producción, esto último contribuirá con la seguridad agroalimentaria regional y nacional, al hacer posible la presencia de soya doméstica en el mercado nacional, producida sustentablemente y en condiciones de eficiencia económica.

REFERENCIAS

Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación*. (3a. ed.). México, D.F.: Pearson.

Cajamarca-Carrasco, D., Baño-Ayala, D. y Arboleda Álvarez, L. (2022). Soberanía alimentaria, un derecho constitucional ecuatoriano de producción sostenible agroindustrial. *Polo del Conocimiento*, 7(6), 688-712. Recuperado de <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4098/9600>

Calero León, C. J. (2011). *Seguridad alimentaria en Ecuador desde un enfoque de acceso a alimentos*. Quito, Ecuador: FLACSO Ecuador-Ediciones Abya Yala Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/52065.pdf>

Canaan, J. M. M., Brasil, G. S. P., de Barros, N. R., Mussagy, C. U., Guerra, N. B. y Herculano, R. D. (2022). Soybean processing wastes and their potential in the generation of high value added products. *Food Chemistry*, 373(B), 131476. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131476>

Cappa, F., Baracchi, D. y Cervo, R. (2022). Biopesticides and insect pollinators: Detrimental effects, outdated guidelines, and future directions. *Science of the Total Environment*, 837(1), 155714. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155714>

Cárdenas, J., Sánchez-Yáñez, J., Fariás-Rodríguez, R. y Peña-Cabriales, J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173-178. https://www.researchgate.net/profile/Rodolfo-Farias-Rodriguez/publication/235965482_Contribution_of_nitrogen_to_agriculture/links/0a85e537f89422358f000000/Contribution-of-nitrogen-to-agriculture.pdf

Carlisle, L., Montenegro de Wit, M., DeLonge, M. S., Iles, A., Calo, A., Getz, C.,..., Press, D. (2019). Transitioning to sustainable agriculture requires growing and sustaining an ecologically skilled workforce. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 00096. <http://dx.doi.org/10.3389/fsufs.2019.00096>

Carrera, M. (2016). Agricultura convencional Vs agricultura agroecológica: una alternativa a la preservación medio ambiental (Caso Soya). *Revista La Quinta Ola*. CIEA-EA-ACA-004 http://200.107.61.5/publicaciones/revistas_cientificas/quinta-ola-2/CIEA-EA-ACA-004.pdf

Castro Murillo, C., Morales Pérez, M., Castellanos Dorado, R. M., Pacheco Fera, U., & Macía Quintosa, T. (2022). Evaluación de la sustentabilidad de la Autosuficiencia Alimentaria Sostenible en Esmeraldas, Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 14(3), 553-564. Recuperado a partir de <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2900>

- Choez-Quiroz, V., Paz, O., & Valdes-Carmenate, R. (2017). Diagnóstico sociocultural del cultivo de soya en San Juan de Pueblo Viejo, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 81-85. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000300012&lng=es&tlng=es.
- Colombo, K., Ender, L., Santos, M. M., & Chivanga Barros, A. A. (2019). Production of biodiesel from soybean oil and methanol, catalyzed by calcium oxide in a recycle reactor. *South African Journal of Chemical Engineering*, 28, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2019.02.001>
- De Freitas, V. F., Cerezini, P., Hungria, M. y Nogueira, M. A. (2022). Strategies to deal with drought-stress in biological nitrogen fixation in soybean. *Applied Soil Ecology*, 172, 104352. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104352>
- De Luna Jiménez, Alfonso. (2006). Valor nutritivo de la proteína de soya. *Investigación y Ciencia*, 14(36), 29-34. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/674/67403606.pdf>
- Díaz-Franco, A., Alejandro-Allende, F., Cisneros-López, M. E., Espinosa-Ramírez, M., Ortiz-Cháirez, F. E. (2021). Fertilización biológica, orgánica y mineral reducida en soya (*Glycine max* L.), *Terra Latinoamericana*, 39, e725. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.725>
- FAO, Food and Agriculture Organization. (1996). *Cumbre Mundial sobre la alimentación. Declaración de Roma sobre la seguridad alimentaria*. Roma, Italia: FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/3/w3613s/w3613s00.htm>
- FAO, Food and Agriculture Organization. (2011). *La seguridad alimentaria: Información para la toma de decisiones*. Roma, Italia: FAO, Programa CE-FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/3/al936s/al936s00.pdf>
- FAO, Food and Agriculture Organization. (2014). *Building a common vision for sustainable food and agriculture. Principles and approaches*. Roma, Italia: FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/3/i3940e/i3940e.pdf>
- FAO, Food and Agriculture Organization. (2021). *Situación alimentaria mundial*. Roma, Italia: FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- FAO, UNICEF, WFP, IFAD y WHO. (2022). *The state of food security and nutrition in the world 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable*. Roma, Italia: FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc0639en>
- Flórez Gómez, D. L., Osorio Guerrero, K. L., Medina Mérida, M. J., Jaramillo Bonilla, S. y Ortegón Herrera, L. E. (2021). *Manual de producción de semilla de calidad de soya en los valles interandinos de Colombia*. Mosquera, Colombia: Agrosavia. Recuperado de <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/220/201/1340-1?inline=1>
- Franco Crespo, C. D. y Vallejo Mena, J. G. (2022). *El aporte de la agroecología a la seguridad alimentaria a partir del año 2015 en el Ecuador*. [Tesis de grado inédita]. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34947>
- García Fernández, F., Domínguez Jardines, A., Galván Vera, A. y Sánchez Muñoz, N. (2018). La gobernanza de la cadena de valor de la soya en el sur de Tamaulipas (México): Mapeo de los procesos. *Agroalimentaria*, 24(47), 113-131. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7169259>
- García Fernández, F., Sánchez Muñoz, N. y Sánchez Tovar, Y. (2014). Estrategias para potenciar la cadena de valor de la soya en la región El Mante (Tamaulipas), México. *Agroalimentaria*, 20(39), 119-135. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/39125>
- Guamán J., R., Andrade V., C., Peralta Salinas, L., Triviño Gilces, C., Espinoza Mendoza, A., Arias de López, M., Manzano Gaviláñez, B. (1996). *Manual del cultivo de soya*. Guayaquil, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Boliche, Programa Nacional de Soya, Manual no. 32). <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2076>

- Havryliuk K., N. (2022). *Un ejemplo que muestra partes de una planta de soya*. Breantwood, EE.UU.: Dreamstime LLC. Recuperado de <https://thumbs.dreamstime.com/z/ciclo-del-crecimiento-de-la-planta-soja-aislado-en-el-fondo-blanco-120981480.jpg>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6a. ed.). México, D.F.: McGraw Hill.
- INIAP, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (1996). *Manual del cultivo de soya*. Quito, Ecuador: INIA.
- Mayorga, C. (2015). Agricultura y desarrollo sostenible: Provincia de Los Ríos. Revista UNIANDES Episteme, 2(1), 14-25. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6756384>
- Mederos-Ramírez, A. y Ortiz-Pérez, R. (2021). Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la soya (*Glycine max* (L) Merrill). *Cultivos Tropicales*, 42(1), e10. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000100010&lng=es&tlng=es
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *Soya*. Quito, Ecuador: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/AlimentosBalanceados/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales%20Soya.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). *Resultados de la Hoja de Balance de Alimentos Ecuador 2019. Resumen*. Quito, Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Recuperado de <https://fliphtml5.com/ijia/auzl/basic>
- Ministerio de Salud Pública. (2014). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. ENSANUT-ECU 2012. Tomo I*. Quito, Ecuador: Ministerio de Salud Pública. Recuperado de https://www.ecuadorencefiras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/ENSANUT/MSP_ENSANUT-ECU_06-10-2014.pdf
- Palma Ramírez, I. A. (2022). Poblaciones de fijadores biológicos de nitrógeno en la producción del cultivo de soya en la zona de Los Ríos. [Tesis de grado inédita]. Universidad Técnica de Babahoyo, Los Ríos, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11357>
- Painii-Montero, V. F., Camarena-Mayta, F., Santillán-Muñoz, O. y Garcés-Fiallos, F. R. (2018). Interacción genotipo × ambiente de genotipos de soya en Ecuador. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(4), 433-441. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.433-441>
- Sachs, J. D. (2015). *The age of sustainable development*. Nueva York, EE.UU.: Columbia University Press.
- Sánchez, A., Vayas, T. y Mayorga, F. (2021). *Soya en Ecuador*. Tunguragua, Ecuador: Observatorio Económico y Social de Tunguragua. Recuperado de <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/10/La-Soya-en-Ecuador.pdf>
- Sánchez, S. (2021). *Efecto de tres bioestimulantes como complemento a la fertilización edáfica en el cultivo de soya*. [Trabajo experimental]. Guayaquil, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador <http://181.198.35.98/Archivos/S%C3%81NCHEZ%20GARC%C3%89S%20SALOM%C3%93N%20LENIN.pdf>
- Silva, M., Sacco, F. y González, J. (2020). Adiós Pampa mía: impactos socioambientales de la expansión de la soya en el sur de Brasil. *Agroalimentaria*, 25(48), 53-68. Recuperado de <http://revistas.saber.ula.ve/index.php/agroalimentaria/article/view/15935>
- Singh, P. y Krishnaswamy, K. (2022). Sustainable zero-waste processing system for soybeans and soy by-product valorization. *Trends in Food Science & Technology*, 128(2022), 331-344. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.015>
- Soto, K., Suárez, D., Torres, D. y Torres, J. (2001). Cultivo de soya. San Antonio de Oriente, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11036/2450>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M.,... Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1259855>

Tamayo Ortiz, C. V. y Alegre Orihuela, J. C. (2022).

Asociación de cultivos, alternativa para el desarrollo de una agricultura sustentable. *Siembra*, 9(1), e3287. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3287>

United States Department of Agriculture, USDA.

(2021). Foreign Agricultural Service – FAS. Oilseeds: World Markets and Trade, 12, January. Washington, EE.UU.: USDA. Recuperado de <https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>

Van Ittersum, M. K. y Rabbinge, R. (1997).

Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52(3), 197-208. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00037-3)

Viera-Arroyo, W. F., Tello-Torres, C. M.,

Martínez-Salinas, A. A., Navia-Santillán, D. F., Medina-Rivera, L. A., Delgado-Párraga, ... Jackson, T. (2020). Control biológico: una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 128-149. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200128>