

Agronomía Digital: Intensificación del sistema productivo de **Arroz y Soya** en Venezuela



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL



FUNDACIÓN
NACIONAL
DEL ARROZ



Caracas, Venezuela



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL



OnudiVenezuela



www.venezuela.un.org

Av. Eduardo Chollet, Acarigua 3303.
Portuguesa, Venezuela.



FUNDACIÓN
• NACIONAL •
DEL ARROZ



fundarroz



fundarroz@gmail.com

Av. Eduardo Chollet, Acarigua 303.
Portuguesa, Venezuela.



fondesoya



fundarroz@gmail.com

Av. Roraima nº 1000, Dpto. de Fitotecnia
Prédio 77, Santa Maria, RS, Brasil.



efieldcrops



equipefieldcrops



equipefieldcrops@gmail.com



www.equipefieldcrops.com

Calle 84 A No. 12-18 Piso 7.
Bogotá, Colombia.



arrozFLAR



arrozflar



flar@cgiar.org



flar.org

Av. Roraima nº 1000, Bairro - Camobi,
Santa Maria, RS, Brasil.



UFSM_oficial



ufsm.br



www.ufsm.br

Proyecto Piloto ST 52: Incremento de rendimientos en arroz y soya, incorporando tecnologías digitales y protocolos agronómicos innovadores.

Diagramación: Editora GR - gregory.rossato@gmail.com

Foto de la Capa: Tarmar Lopez

Montaje final de la Capa: Editora GR - gregory.rossato@gmail.com

Datos de Catalogación en Publicación Internacional – CIP

A281

Agronomía Digital: Intensificación del sistema productivo de Arroz y Soya en Venezuela [recurso electrónico] / Wilmer Iván Chacón Martínez [et al.]. Santa Maria: Editora GR, 2024.

241 p. ; il. color.
Disponible en PDF.

ISBN 978-85-54856-67-0

1. Arroz 2. Soya 3. Producción 4. Venezuela I. Título

CDU 633.18:633.34(87)

Bibliotecaria responsable Trilce Morales – CRB 10/2209

Cita:

MARTINEZ, W. I. C et al. Agronomía Digital: Intensificación del sistema productivo de arroz y soya en Venezuela. 1 ed. Santa Maria, 2024. 248p.

AUTORES



WILMER IVÁN CHACÓN MARTÍNEZ

Ing. Agr. Mag. en Economía agrícola. Consultor de la Org. de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).
wil.chaconm@gmail.com



DANIEL ALEJANDRO BRITO HERRERA

Ing. Agr. Coordinador del Programa de Agronomía de la Fundación Nacional de Arroz de Venezuela (FUNDARROZ) y Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR).
danielbrito80@gmail.com



TARMAR LOPEZ

Ing. Agr. Proyecto Piloto ST 52 - Incremento de rendimientos en arroz y soya: Org. de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)/Fundación Nacional de Arroz de Venezuela. (FUNDARROZ).
tlopez.fundarroz@gmail.com



MARÍA CAROLINA BETANCOURT GARCÍA

Economista Mag. en Administración mención gerencia en finanzas. Líder del proyecto de rotación arroz/soya de la Org. de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).
m.betancourtgarcia@unido.org
betancourtcarolina@yahoo.com



ANTONIO JOSÉ PÉREZ MÁRQUEZ

Consultor Agronegocios de la Org. de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).
a.perezmarquez@unido.org



FRANCO SILVA AVILA

Coordinador General del Programa de la Org. de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) en Venezuela.
f.silvaavila@unido.org



PEDRO LUIS CORDERO

Ing Agr. Presidente de la Fundación Nacional de Arroz de Venezuela (FUNDARROZ).
corieco@gmail.com fundarroz@gmail.com

AUTORES



JESUS ALEXANDER ACOSTA PEREZ

Consultor Agronegocios de la Org. de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).
j.acostaperez@unido.org



RICHARD RAMIREZ

Analista de Agronegocios de la Cadena de Valor de Leguminosas y Granos de la Org. de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).
r.ramirezbruno@unido.org



EDUARDO GRATEROL MATUTE

Ing. Agr. Ph.D. en Mejoramiento y genética de plantas. Director Ejecutivo del Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR).
e.j.graterol@cgiar.org



LUCIANO DE CAMPOS CARMONA

Líder del Programa de Agronomía y Transferencia de Tecnología del Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR).
l.carmona@cgiar.org



JUAN BAUSTISTA FIGUEROA

Ing. Agr. Fitomejorador del Programa de mejoramiento genético de arroz de asoportuguesa.
jfigueroa2020@hotmail.com



ALBERTO ANTONIO PÉREZ CANELÓN

Ing. Agr. Asistente Fitotecnico en el Programa de mejoramiento genético de arroz de Asoportuguesa.
fitomejorador.ap2024@gmail.com



JOÃO VITOR SANTOS DE SOUZA

Ing. Agr. Estudiante de maestría en el Programa de Ingeniería Agrícola de la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM).
joaosouzaagro@hotmail.com

AUTORES



CINTIA PIOVESAN PEGORARO

Estudiante de grado en Agronomía de la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM).

cppegoraro@hotmail.com



BRUNA PINTO RAMOS

Estudiante de grado en Agronomía de la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM).

brunapr.ramos@gmail.com



CAMILLE FLORES SOARES

Ing. Agr. MSc. Estudiante de doctorado en el Programa de Agronomía de la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM)

camille-flores@hotmail.com



ISABELA BULEGON PILECCO

Ing. Agr. MSc. Estudiante de doctorado en el Programa de Agronomía de la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM).

isabelabpilecco@gmail.com



VITÓRIA SIGNOR

Estudiante de grado en Agronomía de la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM).

vsignor06@gmail.com



LAUREN MACHADO LAGO

Estudiante de grado en Agronomía de la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM).

lauremlago@gmail.com



EDUARDO LAGO TRAGLIAPIETRA

Ing. Agr. Dr. en Agronomía por la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM).

eduardotagliapietra@hotmail.com

AUTORES



MARCOS DALLA NORA

Ing. Agr. Estudiante de maestría en el Programa de Agronomía de la Universidad Federal de Santa María (UFSM).
marcosdallanora7@gmail.com



MARCEL ANGEL GUEVARA ORDOÑEZ

Ing. Agr. Estudiante de maestría en el Programa de Ingeniería Agrícola de la Universidad Federal de Santa María (UFSM).
mguevara9795@gmail.com



GILNEI FORGIARINI ULIANA

Estudiante de grado en Agronomía de la Universidad Federal de Santa María (UFSM).
gilneiuliana@gmail.com



GIOVANA GHISLENI RIBAS

Ing. Agr. Dra. Prof. de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)/Universidad de São Paulo (USP).
gribas@usp.br



NEREU AUGUSTO STRECK

Ing. Agr. PhD. Prof. del Departamento de Fitotécnia de la Universidad Federal de Santa María (UFSM).
nstreck2@yahoo.com.br



MARIA SOLEDAD ARMOA BÁEZ

Ing. For. MSc. Estudiante de doctorado en el Programa de Ingeniería Agrícola de la Universidad Federal de Santa María (UFSM) - Prof. de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. (UNA).
soledad.armoa@agr.una.py



ALENCAR JUNIOR ZANON

Ing. Agr. Dr. Prof. del Departamento de Fitotécnia de la Universidad Federal de Santa María (UFSM), Consultor de la Org. de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).
alencar.zanon@ufsm.br

GRACIAS A LOS PRODUCTORES



VENTURINO CICONETTI



AURELIO CAZZULANI



JOSÉ LUÍS PERÉZ



MANUEL BALAGUER



NICOLINO MERLOTTI



NICOLA CAMPO



HERNAN TORRE

GRACIAS A LOS PRODUCTORES



LUIS SIMÓN PERÉZ



ORLANDO PERÉZ



MIRCO RODRÍGUEZ



CARLOS LANDAETA



MILKO PAGLIARELLA



LUIS MERLOTTI



MARIA FERNANDA VÁSQUEZ

GRACIAS A LOS PRODUCTORES



ARTURO MORÁN



FRANCISCO OJEDA



JOSÉ HERNÁNDEZ



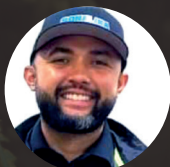
NIEVES RODRÍGUEZ



MARÍA RODRÍGUEZ



SIXTO ACOSTA



CARLOS MACHÍN

GRACIAS A LOS PRODUCTORES



FERNANDO EXPOSITO



FRANCO ROTUNDO



ANTONIO ROTUNDO

GRACIAS A TODOS

GLADYS DE NAFFAH

CARLOS ROJAS

CIRILO CARRASCO

DIEGO MÁRQUEZ

ENDER ÁLVAREZ

SALVADOR AMATO

JHON CABEZA

MARCOS CORON

NICOLA CASSIA

ZAMIR BRACHO

PABLO SANOJA

ANDRÉS QUIÑONES

BLAS PÉREZ

DILYELENIS HERRERA

PEDRO LUIS CORDERO

COSIMO DE NUNZIO

GRACIAS A LOS COLABORADORES



GRUPO POLO AGROPECUARIO



ASOPORTUGUESA



FUNDACIÓN DANAC



AGROSER VENEZUELA



OLACHEA C.A

GRACIAS A LOS ALIADOS PARA LA IMPRESIÓN DEL LIBRO



ASOPORTUGUESA



FEVEARROZ



APROSCELLO



PAI



MAQUIVENCA



RUTA DE LA SOYA

GRACIAS A LOS ALIADOS PARA LA IMPRESIÓN DEL LIBRO



AGROPACA



GRUPO AGROINLACA



AGROSER VENEZUELA



AGROINPROA



CONVACA

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue realizado a través de una alianza entre la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), Fundación Nacional del Arroz (FUNDARROZ), Fondo Latino Americano de Arroz de Riego (FLAR) y el Equipo Field-Crops de la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM), durante los años agrícolas 2022, 2023 y 2024.

Agradecemos a ONUDI, FUNDARROZ, ASOPORTUGUESA y el GRUPO POLO-AGROPECUÁRIO, especialmente a los investigadores/extensionistas Daniel Brito y Tarmar Lopez, por el seguimiento de los cultivos durante los tres años agrícolas.

Agradecemos a Edecio y Diego Márquez por ceder los espacios de la finca Canaima, donde se realizaron los experimentos del proyecto. A Juan Figueroa y Alberto Pérez por los datos de fenología de arroz y al consultor Wilmer Chacón, por llevar adelante la instalación y seguimiento de los experimentos de soya, a partir de los cuales se realizó la validación de los modelos matemáticos de simulación de cultivos (CSM-CROPGRO Soybean y Oryza) para estimar el rendimiento potencial.

Agradecemos a Jimmy Sánchez y Gerardo Skrut quienes suministraron los datos de las estaciones meteorológicas en este proyecto.

Agradecemos a María Carolina Betancourt García por su liderazgo, dedicación y excelencia en la conducción del proyecto de rotación de arroz y soya en Venezuela.

Agradecemos a Luís Perez, Richard Ramírez, Vianel Rodríguez, Alexander Acosta y a todos los colaboradores. Así también, a todos los productores de arroz y soya de Venezuela que abrieron las puertas de sus propiedades y permitieron la colecta de datos de manejo de sus lotes.

ONUDI

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) fue creada en 1966. Se convirtió en una agencia especializada de las Naciones Unidas en 1985, y como tal, busca promover el desarrollo industrial para la reducción de la pobreza, la globalización inclusiva y la sostenibilidad ambiental. Para ello, centra sus acciones en tres áreas temáticas: reducción de la pobreza a través de actividades productivas sostenibles, desarrollo de la capacidad comercial y energía.

FUNDARROZ

La Fundación Nacional del Arroz de Venezuela, es una institución con personalidad jurídica, sin fines de lucro, cuyo objetivo principal es la de contribuir con el desarrollo del cultivo de arroz en todas sus áreas. Brindándole beneficios al productor, con la participación de investigadores, técnicos, universidades, institutos de investigación público y privado.

FLAR

El Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego, es una alianza público-privada que busca mejorar la competitividad y sostenibilidad de los sistemas de producción de arroz, con un enfoque de ecoeficiencia. El FLAR agrupa a diversas organizaciones vinculadas al arroz de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guyana, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Perú, República Dominicana, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela, teniendo al Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, como socio estratégico.

FONDESOYA

La Fundación Nacional de Soya de Venezuela, es una institución con personalidad jurídica, sin fines de lucro, cuyos objetivos principales son contribuir con el desarrollo del cultivo de soya en todas sus áreas. Brindándole beneficios al productor, con la participación de investigadores, técnicos, universidades, institutos de investigación público y privado.

EQUIPO FIELDCROPS

Equipo FieldCrops es un equipo multidisciplinario y multi-institucional que busca la intensificación sustentable de los sistemas de producción de soya, arroz, maíz y trigo. El equipo FieldCrops desarrolla trabajos de investigación y extensión dentro del lote del productor, respondiendo demandas locales, pero con impacto y foco en la sostenibilidad global, atendiendo a los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y la Agenda 2030 de la ONU. El equipo también colabora para la ejecución de proyectos globales, como el Global Yield Gap Atlas (www.yieldgap.org), que tiene como objetivo determinar el cuanto es posible producir de alimentos en la actual área agrícola con el mínimo de impacto ambiental, englobando 15 cultivos alimenticios en 75 países. Las acciones de producción de conocimiento y transferencia de tecnología capitaneadas por el Equipo FieldCrops son basados en la interacción GxAxMxP (Genótipo x Ambiente x Manejo x Productor) a nivel del sistema de producción.

UFSM

La Universidad Federal de Santa Maria fue la primera universidad federal creada en el interior, fuera de una capital brasileña. Su misión es construir y difundir conocimiento, comprometidos con la formación de personas capaces de innovar y contribuir al desarrollo de la sociedad, todo eso de manera sostenible, su visión es: ser reconocida como una institución de excelencia en la construcción y difusión del conocimiento, comprometida con el desarrollo de la sociedad, de manera innovadora y sostenibles. Sus valores son: apostar por la educación y el conocimiento, basándose en los principios de libertad, democracia, ética, justicia, respeto a la identidad y la diversidad, compromiso social, innovación y responsabilidad.

EPÍGRAFE

La intensificación de los sistemas de producción en el mundo es esencial para satisfacer la creciente demanda de alimentos, fibras y energía, impulsada por el crecimiento demográfico y el desarrollo económico. Esta intensificación, cuando se lleva a cabo de manera sostenible, permite maximizar el rendimiento de las áreas agrícolas existentes, evitando una expansión desenfrenada sobre los ecosistemas naturales. Además, promueve el uso eficiente de recursos como el agua, los nutrientes y la energía, reduciendo el impacto ambiental de la producción agrícola. Una intensificación bien planificada también puede contribuir a la seguridad alimentaria mundial al mitigar los efectos del cambio climático y garantizar la resiliencia de los sistemas agrícolas (Food and Agricultural Organization, 2011).

ÍNDICE

1. Una visión sobre la historia de la rotación arroz-soya en Venezuela.....	24
2. Producción actual de arroz y soya en Venezuela	32
2.1. Producción actual de arroz y soya en Venezuela	33
3. Ecofisiología del arroz.....	35
3.1. Botánica y morfología	36
3.2. Estructuras vegetativas	37
3.3. Estructuras reproductivas	38
3.4. Escala Fenológica.....	39
3.5. Escala Fenológica de Counce et al. (2000).....	40
3.6. Fase de desarrollo de la plántula (siembra - emergencia).....	41
3.7. Fase vegetativa	42
3.8. Fase reproductiva.....	44
4. Ecofisiología de la soya	50
4.1. Botánica y morfología	51
4.2. Escala fenológica.....	55
4.2.1. Escala fenológica de Fehr y Caviness (1977)	56
4.3. Fase vegetativa	57
4.4. Fase reproductiva.....	63
5. Potencial y brechas de rendimiento.....	71
5.1. Potencial de rendimiento, potencial de rendimiento de secano, rendimiento alcanzable y rendimiento promedio....	72
5.2. Brechas de rendimiento	73

6. Global Yied Gap Atlas	76
6.1. Metodología	78
7. Zonas climáticas en área de cultivo de arroz en Venezuela...	79
8. Caracterización de suelo en zonas productoras de arroz en Venezuela.....	85
9. Herramientas y datos para estimar los potenciales de rendimiento en Venezuela	123
10. Potencial y brechas de rendimiento de arroz y soya en el mundo	133
10.1. Potencial de rendimiento de arroz en el mundo	134
10.2. Brecha de rendimiento de arroz en el mundo	135
10.3. Potencial de rendimiento de soya en el mundo	136
10.4. Brechas de rendimiento de soya en el mundo	137
10.5. Potencial de rendimiento de secano para la soya en el mundo	138
11. Potencial y brechas de rendimiento de arroz de riego en Venezuela.....	139
11.1. Rendimiento potencial del arroz de riego en Venezuela - Temporada de lluvia	140
11.2. Rendimiento alcanzable del arroz de riego en Venezuela - Temporada de lluvia	141
11.3. Rendimiento promedio del arroz de riego en Venezuela - Temporada de lluvia y seca.....	142
11.4. Brecha de rendimiento del arroz de riego en Venezuela - Temporada de lluvia	143
11.5. Rendimiento potencial del arroz de riego en Venezuela - Temporada seca	144

11.6.	Rendimiento alcanzable del arroz de riego en Venezuela - Temporada seca.....	145
11.7.	Brecha de rendimiento del arroz de riego en Venezuela - Temporada seca.....	146
11.8.	Potencial y brechas de rendimiento de arroz de riego en las buffers zones	147
11.9.	Rendimiento alcanzable del arroz en las buffers zones	148
11.10.	Rendimiento potencial y brechas de rendimiento del arroz en Venezuela	149
11.11.	Venezuela en la primera página de la producción de arroz a nivel mundial.....	150
11.12.	Manejo para altos rendimientos en el cultivo de arroz en Venezuela	151
11.13.	Reducir la inseguridad alimentaria de arroz en Venezuela mediante la intensificación agrícola	163
12.	Intensidad de emisión de CO₂ en arroz	165
13.	Potencial y brechas de rendimiento de soya en rotación con arroz en Venezuela	169
13.1.	Potencial de rendimiento y potencial de rendimiento de secano de la soya en rotación con arroz en Venezuela - Temporada de lluvia	170
13.2.	El potencial de rendimiento alcanzable de la soya en rotación con arroz en Venezuela - Temporada de lluvia.....	171
13.3.	Rendimiento promedio de la soya en rotación con arroz en Venezuela - Temporada de lluvia	172
13.4.	Brecha de rendimiento alcanzable de la soya en rotación con arroz en Venezuela - Temporada de lluvia.....	173
13.5.	Potencial y brechas de rendimiento de la soya en rotación con el arroz en Venezuela.....	174

13.6. Manejo para altos rendimientos en el cultivo de soya en rotación con arroz en Venezuela: Estudio de caso en fincas de productores de arroz.....	175
13.7. Cómo les va a los cultivos de soya en 2024 con las lecciones aprendidas de 2023	178
13.8. Principales desafíos de la soya en rotación con arroz en Venezuela	184
1. <u>Drenaje</u> y plantabilidad.....	184
2. <u>Fijación Biológica de Nitrógeno</u> (FBN)	186
13.9. Escalera con los principales factores que afectan los rendimientos de la soya.....	188
14. Uso de tecnologías digitales para cerrar la brecha de rendimiento en arroz-soya	189
14.1. Incorporación de aplicaciones y tecnologías digitales para el monitoreo de cultivos.....	191
14.2. Flujo de trabajo.....	192
14.3. “Una imagen - Una Acción”	194
15. Cadena productiva de arroz y soya en Venezuela.....	210
15.1. Cadena de Valor Agroindustrial del arroz y la soya en Venezuela	211
15.2. Cadena de Valor Agroindustrial de la Soya.....	211
15.3. Cadena de valor agroindustrial del arroz	219
15.3.1. Funciones de la cadena de valor.....	220
16. Consideraciones finales	228

1. Una visión sobre la historia de la rotación arroz-soya en Venezuela



La variedad de soya CIGRAS-06 (PI 613055) fue originada de un cruce entre Padre y Duocrop fue liberada en 1999 en Costa Rica por el Instituto de Investigaciones de Granos debido a su alto rendimiento en condiciones tropicales. La variedad llegó para Venezuela en el inicio del año 2000 y fue evaluada en los ensayos regionales de soya por el INIA, logrando su liberación en 2007. La Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado (UCLA) fue responsable por su introducción y la empresa Ematec C.A, fue la encargada de multiplicar y distribuir su semilla a nivel nacional.

CIGRAS-06 mostró gran adaptabilidad a diferentes ambientes y épocas de siembra, además de, un alto potencial de rendimiento. Esta variedad fue fundamental para demostrar a los agricultores venezolanos el potencial de la soya.

Wilmer Chacón

En Venezuela las primeras informaciones sobre la soya (*Glycine max* (L) Merr) se pueden orientar según la siguiente cronología: en 1880, según documento de la Sociedad de Horticultura de Etampes, refiere la distribución de un cultivar, introducido desde Francia (Blavet, 1880) denominado soya comestible de Etampes, para que fuera plantado en el país, sin especificar sobre el destino de esta semilla. En 1920, en el Campo Experimental de Maracay de la Estación Experimental de Cotiza; se realizan los primeros ensayos de soya.

Ya para 1936, Alberto Adriani, primer ministro del Despacho de Agricultura y Cría, propone la soya como cultivo potencial para uso forrajero y para el mejoramiento de suelos. Tres años después, se realiza la introducción de nuevos cultivares para evaluar su adaptabilidad.

En 1941, el mismo Instituto realizó ensayos de soya en el campus de El Valle - Caracas; reportándose rendimientos hasta de 2.5 t/ha. Después de este logro significativo, no hubo más información sobre nuevas evaluaciones. Sería hasta 1952, que la soya despertaría el interés del sector privado a través de la Empresa Protinal, dedicada a la fabricación de alimentos balanceados para animales, donde el Dr. Santiago Fedón, es designado responsable del proyecto de Soya. Realizo trabajos de evaluación de variedades introducidas en suelos del estado Yaracuy, con resultados poco alentadores.

En 1959, el mismo Dr. Santiago Fedón, introduce 63 cultivares procedentes de: Japón, Australia, U.S.A, Colombia y Brasil, además realiza trabajos con el apoyo de la Facultad de Agronomía de la UCV. Gracias a este proceso de selección, se identificaron cultivares superiores, que fueron base para el establecimiento de programas de siembras en diferentes localidades, donde se destacan: Carabobo (Güigüe y Valencia), Cojedes (Tinaquillo) y Portuguesa (Acarigua y Turen).

Para 1960, Protinal introduce 150 nuevos cultivares, y continua el proyecto iniciado con la Facultad de Agronomía- UCV, orientado a la evaluación de cultivares en varias localidades del

país. Paralelamente el Centro de Investigaciones Agronómicas, inició un programa de introducción y selección de cultivares que se mantuvo por varios años. Donde se evaluaron variables como: respuesta al fotoperiodo, época y densidad de siembra, fertilización, encalado, control de malezas, uso de inoculantes.

En 1967 se lograrían establecer las primeras siembras comerciales (300 ha) en los Valle de Aroa del estado Yaracuy, con la variedad Improved Pelican, lográndose un rendimiento promedio de 1.4 t/ha; en dicha experiencia un agricultor logró cosechar 2.0 t/ha. Este proyecto de producción de soya continuó en Yaracuy, Carabobo y Cojedes con resultados aceptables, pero, los logros en campo, no eran compensados económicamente, debido al bajo precio de cancelación del grano.

En la década de los 70, otras instituciones se sumaron al proceso de producción e investigación de la soya, donde se destacaron: Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas - FUDECO (Barquisimeto, Edo. Lara, 1970-1972). FUSAGRI (Cagua, Edo. Aragua, 1973-1984). Algodonera Guárico S.A. (Las Mercedes del Llano, Edo. Guárico, 1974). Universidad de Oriente (UDO - Jusepin, Edo. Monagas a partir de 1974). Estas instituciones realizaron ensayos de selección de cultivares, estudios de épocas de siembra, fertilización, densidad de siembras, identificación y control de malezas, plagas y enfermedades. Sin embargo, el año 1976, marcaría un acontecimiento importante en el programa de siembras comerciales conducido por Protinal, C.A., al este desaparecer debido al bajo precio de cancelación del grano.

En mayo de 1977 hasta 1984, se inicia una nueva y relevante etapa para el manejo y desarrollo del cultivo de soya en el país, tras la firma de un convenio de investigación entre Fundación Polar (FP) - FUSAGRI, cuyo norte era crear las bases técnicas para el desarrollo y establecimiento del cultivo en diferentes áreas agroclimáticas del país, para sustituir las importaciones con producción nacional.

Todo eso, apoyados en un programa de investigación: Mejoramiento genético y selección, introducciones de cultivares de

Soya, y, establecimiento de patrones tecnológicos, apoyados en las investigaciones realizadas.

Ya para el año de 1978, se ampliaría el estudio de la soya cuando el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), comenzó a trabajar en Rhizobiología de leguminosas, seleccionando las primeras cepas IVIC-1 e IVIC-34 en 1982, al ser evaluadas en campo se determinó que el uso de las bacterias, incrementaba los rendimientos en soya en un 60%, en comparación con lotes no inoculados.

Una fecha importante para la soya en Venezuela, sería el 13 de agosto de 1986, cuando la Fonaiap, autorizó a Danac para producir semilla de los cultivares Júpiter-FP y FP-3, bajo la categoría fiscalizada. Un año después, se otorgaría a Danac la elegibilidad, para la producción de los cultivares: FP-1, FP-3, FP-4 y Júpiter-FP.

Pasarían varios años hasta que en 2007, se firma un convenio para la Transferencia Tecnológica y Asistencia Técnica para la Producción de Soya, entre Venezuela- Argentina, el convenio se ejecutó a través de un consorcio de empresarios rurales Argentinos, asume el liderazgo las empresas Los Grobo (Argentina) y PDVSA (Venezuela), el proyecto tenía un costo de 400 millones de dólares, se establecía ampliar las fronteras agrícolas de la soya hasta 1.000.000 ha, pero terminó fracasando debido a problemas de pago. Un año después, en Manaos, un nuevo proyecto sería firmado, esta vez, entre Brasil-Venezuela, la responsabilidad sería de Embrapa-Brasil e INDER-Venezuela. En el marco del Proyecto se inicia con la construcción de la Empresa Integrar de Producción Agraria Socialista "José Ignacio Abreu e Lima S.A". Ubicada en El Tigre – Edo. Anzoátegui, en la vía que conduce a la población de Pariaguán. La unidad de producción disponía de un área de 22.000 ha, para la producción de soya. En ella se instalaron un conjunto de silos con una capacidad de 100.000 t. Las obras civiles fueron encargadas a la empresa constructora Odebrecht. Esta iniciativa también terminó fracasando. Se puede considerar que la soya en Venezuela es todavía una especie poco conocida

como planta de cultivo, aun cuando hay reportes sobre trabajos de investigación e intenciones de promoción del cultivo desde hace más de 60 años.

Diversas razones han frenado la expansión del cultivo de la soya en nuestro país. Algunas, de políticas de precios conjuntamente con la ventaja de poder importar el producto en condiciones muy favorables cuando el poder adquisitivo de nuestra moneda ha sido muy alto. Otras, derivadas del desconocimiento del gran desarrollo alcanzado a nivel de mejoramiento genético, para obtener un grupo de variedades de buena adaptación a condiciones tropicales, y seguir concibiendo que es una especie con posibilidades de una buena productividad solamente en ambientes templados.

Afortunadamente, el INIA (anteriormente Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias-FONAIAP), en sus instancias correspondientes, y algunas empresas privadas y universidades, han mantenido programas de investigación con este cultivo, permitiendo que lleguemos a este momento aparente de producir soya, con información reciente sobre sus posibilidades y con la disponibilidad de un grupo de genotipos de buenas características, la mayor parte introducidas de otros países especialmente de Brasil, que permitan enfrentar con buenas probabilidades de éxito la urgencia de producir soya. Sin embargo, la novedad del cultivo sugiere la gran cantidad de trabajo que queda por hacer en nuestras condiciones y, a la vez, nos señala que siempre tendremos por delante algo nuevo por aprender sobre el manejo de este cultivo (Solórzano et al, 2005).

En el caso del arroz, la producción intensiva de dos siembras al año genera que muchas fincas tengan problemas en controlar malezas de forma efectiva, posiblemente por la alta infestación en los lotes, retraso en el control con malezas muy desarrolladas, resistencia a herbicidas, entre otros. El arroz maleza (rojo o negro) es determinante en la producción que pueda tener un lote arrocerero al igual que otras malezas gramíneas, es por ello que el uso de otras moléculas de herbicidas que pueden hacer un control de

estas malezas es necesario para mejorar la producción en campo, esta variación de herbicidas está relacionada a la introducción de otros cultivos distintos al arroz y que puedan adaptarse a través de mejoras agronómicas y que nos permitan disminuir el banco de semillas de malezas.

La sostenibilidad de los cultivos extensivos está relacionada con los cambios en los procesos que conforman el sistema productivo, entre los más importantes se destacan: mejoras o cambios tecnológicos dentro del cultivo, introducción de plantas cultivables o especies distintas, tales como cultivos de servicios o coberturas, y/o cultivos de rotación. En el arroz la rotación de cultivos puede llegar a ser un desafío, debido a las condiciones de suelos pesados, lotes nivelados con poca pendiente, drenaje deficiente, entre otros inconvenientes. Las leguminosas ofrecen múltiples beneficios en rotación con las gramíneas, entre los más importantes esta su sistema radicular pivotante que permite crear galerías y mejora porosidad del suelo, capacidad de nodulación y generar por asociación con una bacteria el nitrógeno necesario para su desarrollo, cambios en la dinámica de insectos plagas y enfermedades, mejoras en el control de malezas, entre otros múltiples beneficios.

Entre los cultivos de leguminosas que se ha alternado en rotación con el arroz en Venezuela podemos nombrar los más importantes el Frijol Mungo y recientemente de forma experimental la Soya. Desde hace algunos años Fundarroz en la búsqueda de tecnologías que permitan mejorar la producción del cultivo de arroz ha promovido el sistema de rotación con soya, viendo la experiencia del sur de Brasil y Uruguay donde cerca del 60% del área arroceras posee algún tipo de rotación, siendo el de mayor expansión la soya, ambos países han podido incrementar su producción de arroz gracias a los beneficios de la rotación, una de las primeras experiencias de estos países la pudimos conocer en las III Jornadas de cultivo mínimo y siembra directa en el cultivo de arroz en el año 2012 en una de las ponencias, la investigadora del IRGA de Brasil Claudia Lange nos mostraba los primeros siste-

mas de rotación de arroz y soya que comenzaban en Rio Grande do Sul. Igualmente se compartió conocimientos en el 2014 en el taller de rotación de cultivos como alternativas para mejorar la competitividad del arroz en Venezuela bajo este contexto el fondo latinoamericano de arroz de riego (FLAR) por petición de los países socios que lo conforman y del cual Venezuela forma parte, inician desde el 2015 un programa de agronomía dirigido a mejorar los sistemas de rotación de arroz y soya, el cual nos permite tener acceso a los especialistas y consultores que nos visitan periódicamente para hacerle seguimiento a las parcelas demostrativas. Cabe destacar que González en el 2017 también reseña la importancia de las instituciones como Fundarroz y el Flar en desarrollar proyectos de sistemas de rotación arroz y soya en suelos o lotes arroceros para romper con el ciclo de plagas y favorecer la disponibilidad de nutrientes en el suelo como una medida cultural amigable con el ambiente, sin olvidar los beneficios económicos implícitos y sin dejar de lado la “Ruta de la soya” gremio de agricultores que ha buscado un bien en común de lograr el establecimiento del cultivo.

Este movimiento a favor del cultivo de la soya en Venezuela, es motivado por la escasez de dólares para la importación de materia prima con base en proteína de soya de alta calidad para la alimentación humana y animal. Esta coyuntura es muy oportuna desde el punto de vista científico, económico y estratégico para involucrar a todos los actores de la cadena de valor de la soya en el país y fortalecer voluntades. Los agricultores, empresas semilleristas e instituciones de investigación del país están suficientemente conscientes y preparados para afrontar este nuevo reto.

El 07 de mayo de 2021, la soya fue priorizada e incluida en el “Programa de Actualización y Modernización Industrial ONU-DI-Venezuela”, firmado por la ONUDI y el gobierno de Venezuela en el 2020. Este Programa busca contribuir con los esfuerzos del Estado venezolano para garantizar la seguridad alimentaria, fortalecer 5 cadenas de valor agroalimentarias (maíz, arroz, caña

de azúcar, soya y otras leguminosas), y promover mejoras en las prácticas de procesamiento, entre otros objetivos.

Este proyecto se llevo a cabo en campos de productores de arroz de los estados Portuguesa, Cojedes y Guárico, siendo liderado por ONUDI, Fundarroz, FLAR y el Equipo FieldCrops de la UFSM entre 2022 y 2024. A través de este proyecto los productores pudieron lograr rendimientos superiores a 3.0 t/ha de soya en lotes comerciales demostrando la viabilidad de la soya en rotación con arroz en Venezuela.

Asimismo, este proyecto establece las prácticas de manejo a ser realizadas para que el productor venezolano pueda apuntar a rendimientos de 4 t/ha de soya en la temporada de lluvia y 8 t/h de arroz en la temporada seca.



2. Producción actual de arroz y soya en Venezuela

2.1. Producción actual de arroz y soya en Venezuela

Tradicionalmente, Venezuela era considerado un productor de arroz fuerte en America Latina, con una agricultura que se beneficiaba de las tierras fértiles y de un clima favorable para el cultivo de arroz. Sin embargo la producción por hectarea viene disminuyendo gradualmente (Figura 2.1.1) debido a la crisis económica prolongada que afectó la capacidad de los productores de invertir en la infraestructura agrícola, importación de insumos y tecnología agrícola avanzada.

La falta de incentivos y apoyos adecuados también contribuyó para la reducción del área cultivada y por ende de la producción total, actualmente, la producción de arroz en Venezuela es estimada en cerca de 350.000 toneladas por año.

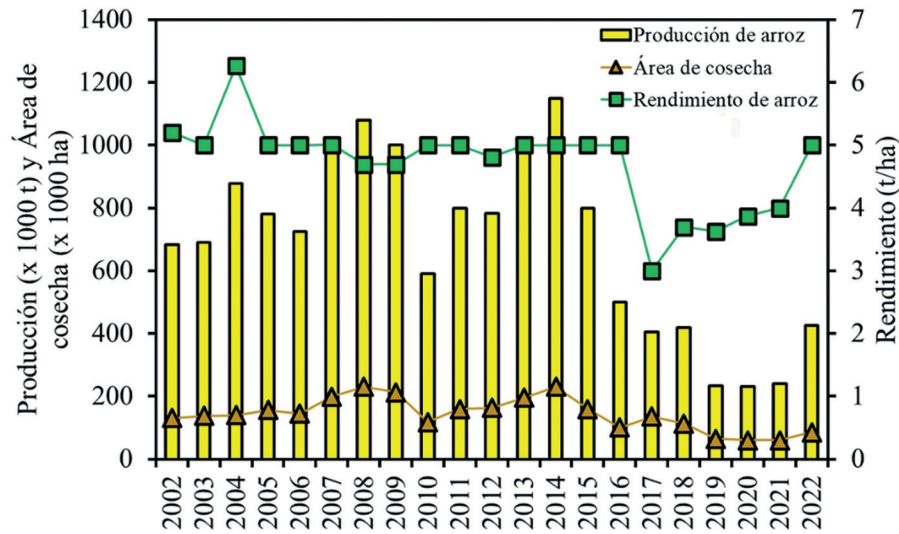


Figura 2.1.1. Producción, rendimiento y superficie cosechada de arroz en Venezuela, desde 2002 a 2022. Fuente: FEVEARROZ, 2024.

La producción de soya en Venezuela es baja (Figura 2.1.2), debido a la falta de fertilizantes, el bajo nivel de financiación (los productores solo pueden trabajar con sus propios recursos) y la calidad de los insumos (principalmente semillas).

Esta baja producción influye en conjunto con el sistema agrícola, pasa a faltar proteína (soya) para la industria de alimentación animal y también usada como fuente de proteína para el ser humano.

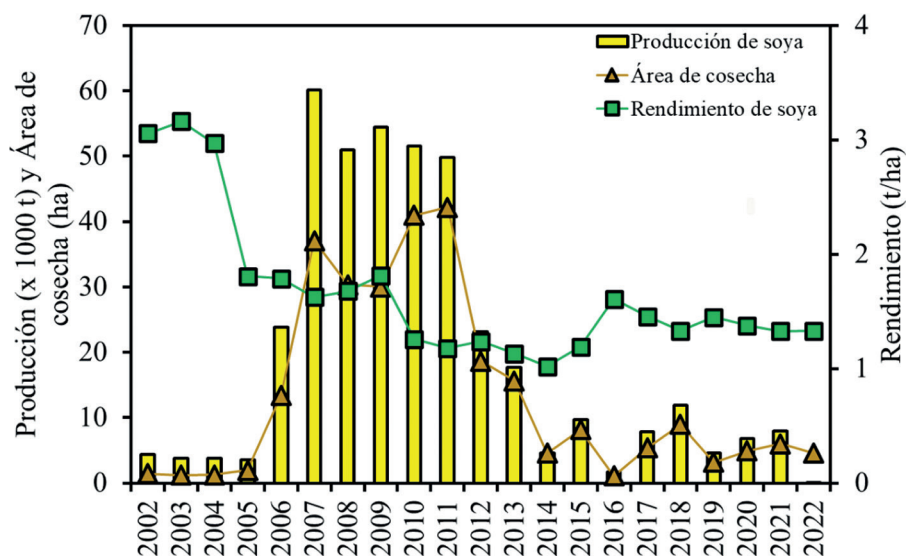


Figura 2.1.2. Producción, rendimiento y superficie cosechada de soya en Venezuela, desde 2002 a 2022. Fuente: FEDEAGRO, 2024.

A close-up photograph of rice plants. The image shows several long, narrow, green leaves with prominent veins. In the center and to the left, there are panicles (seed heads) that are yellowish-green and appear to be in the early stages of grain development. The background is a dense field of similar rice plants.

3. Ecofisiología del arroz

3.1. Botánica y morfología

El arroz es una especie diploide ($2n$), con 24 cromosomas, autógrama, herbácea y anual. En cuanto a la clasificación taxonómica, pertenece a la familia *Poaceae* (gramíneas), género *Oryza* y especie *Oryza sativa* L., siendo subdividida a su vez en dos subespecies: *indica* y *japonica*. Hay variedades que crecen en un entorno con una profundidad de agua de más de 1.5 metros de altura y gran estatura (más de 2.5 metros de altura) y variedades enanas que alcanzan un máximo de 1.2 metros de altura y se pueden cultivar en ambiente de tierras altas (ausencia de profundidad del agua). Variedades que presentan hojas verdes o violáceas, cáscara de grano amarillento, dorado o violáceo, granos largos, delgados o cortos y redondeados, pericarpio blanco, rojo o negro. Morfológicamente, las estructuras de una planta de arroz se pueden clasificar en: órganos vegetativos (raíces, tallos y hojas) y órganos reproductores (panículas o panojas) (Figura 3.1.1).

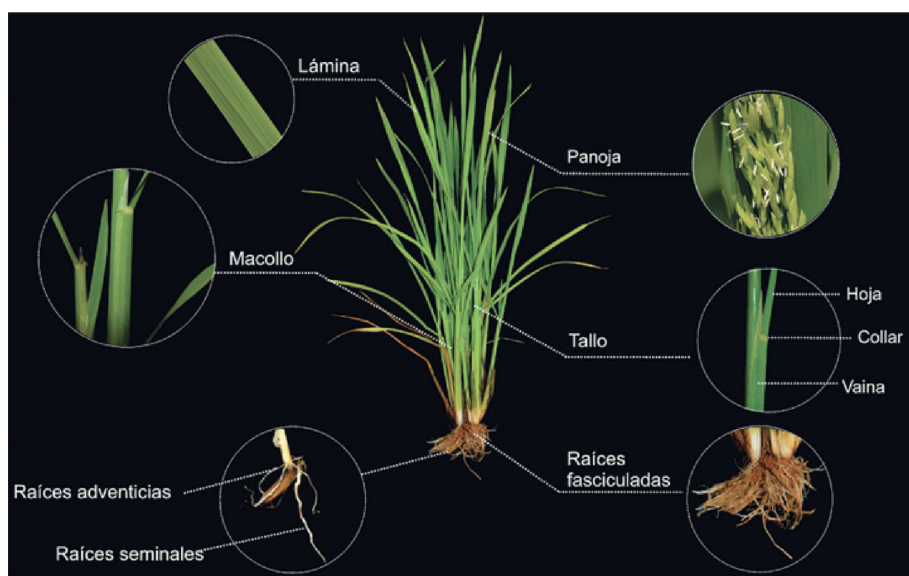


Figura 3.1.1. Planta de arroz y las principales estructuras morfológicas. Fuente: Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

3.2. Estructuras vegetativas

Los órganos vegetativos son las raíces, hojas, tallos y macollos. El sistema de raíces se divide botánicamente en dos tipos principales: raíces fasciculadas y adventicias. Las raíces fasciculadas están formadas por raíces seminales, que se emiten en la primera semana de emergencia, se establecen a partir de las reservas del endospermo de la semilla. Por otro lado, las raíces adventicias (emitidas durante el crecimiento de las plantas) persisten hasta el final del ciclo de cultivo y tienen origen en el tallo principal y los macollos. Los tallos son responsables de mantener la planta erguida, ya que están compuestos de nudos y entrenudos, clasificados en tallos primarios (tallo principal) y tallos secundarios (macollos). Desde el tallo principal, los macollos se desarrollan a partir de los yemas axilares de los nudos no alargados.

Las hojas de arroz están formadas por lámina, ligula, aurícula, collar y vaina. A diferencia del resto de hojas, el profilo (primera estructura visible en la emergencia de las plantas de arroz) tiene forma cilíndrica y sin láminas, siendo descartado como una hoja real. A partir de la segunda hoja, la emisión se produce alternativamente a través de las yemas presentes en los principales nudos del tallo.

En las variedades modernas, que no responden al fotoperíodo, el número total de hojas varía de 9 a 18 (Streck et al., 2008), en los que la última hoja expandida se denomina “hoja bandera”. Una hoja se considera completa cuando el collar (estructura que separa la lámina de la vaina), la ligula y la aurícula son visibles. La lámina presenta nervaduras paralelinervias, con haces vasculares y espacios vacíos denominados aerénquimas, que conectan hojas y raíces, supliendo la necesidad de oxígeno en la condición de anaerobiosis del suelo y permitiendo el cultivo en ambientes inundados (Yoshida, 1981). Las hojas son responsables de la actividad de fotosíntesis de la planta. Cualquier daño a estas estructuras compromete la acumulación de biomasa y el rendimiento de grano.

3.3. Estructuras reproductivas

El arroz se caracteriza por ser una planta autógama, es decir, está formada por flores hermafroditas que se autofecundan (el polen de la parte masculina fertiliza el gameto femenino en la misma inflorescencia). Una flor de arroz está compuesta de pistilo (órgano reproductor femenino), estambres (órgano reproductor masculino compuesto de seis anteras) y lóbulos (revestimiento interno de la flor). El sistema reproductivo está protegido por espiguillas, compuestas por dos brácteas (pálea y lemna) que minimizan el efecto de los eventos adversos durante la polinización. En algunas variedades, es común el crecimiento de aristas en el extremo final de la lema. Cada espiguilla está conectada al raquis a través de los pedicelos, formando la panícula o panojas. Después de la fertilización de una inflorescencia, se forma una cariopsis (o semilla) (Figura 3.3.1.).



Figura 3.3.1. Estructuras reproductivas de una planta de arroz: espiguilla y sus estructuras morfológicas. Fuente: Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

3.4. Escala Fenológica

Las escalas fenológicas son herramientas objetivas y precisas en la identificación de las etapas de desarrollo, ya que describen los procesos de las plantas mediante características morfológicas, desde la siembra (en especies con reproducción de semillas) o plantación (en especies con reproducción asexual a través de órganos vegetativos) hasta la madurez fisiológica. Su objetivo es estandarizar la terminología y facilitar la comunicación entre investigadores, extensionistas y productores. En este capítulo y en la mayor parte del libro, los términos “etapa de desarrollo” o estadio (término en inglés *developmental stage*) se utilizan para expresar un momento morfológico en el que se encuentra la planta o un órgano, mientras que la “fase de desarrollo” (término en inglés *developmental phase*) es definido como el intervalo entre dos etapas sucesivas de desarrollo en la ontología de la planta. Cada fase también se puede dividir en subfases para una mejor comprensión y detalle. La escala fenológica principal y más utilizada del cultivo de arroz en todo el mundo es la propuesta por Counce et al. (2000), que se describe a continuación.

3.5. Escala Fenológica de Counce et al. (2000)

La escala fenológica propuesta por Counce et al. (2000) es la más utilizada para el cultivo de arroz, dividiendo el ciclo de desarrollo en tres fases: fase de plántulas, fase vegetativa y fase reproductiva. La fase de plántulas tiene cuatro etapas de desarrollo durante el proceso de germinación (S0, S1, S2, S3), identificadas por la letra S. La fase vegetativa comienza en la aparición de la planta en la superficie y termina con la iniciación de la panícula (R0). Durante la fase vegetativa, la diferenciación de las hojas ocurre en el ápice meristemático y la aparición de hojas en el falso tallo formado por las vainas de la planta. El número de hojas expandidas en el tallo principal de la planta se identifica con la letra V seguida del número de la hoja expandida (por ejemplo, en V1 la planta tiene una hoja expandida en el tallo principal, en V2 la planta tiene dos hojas expandidas en el tallo principal y así sucesivamente hasta VF, que es cuando se expande la hoja bandera del tallo principal). Una hoja se considera expandida cuando presenta el collar completamente desarrollado, es decir cuando la lámina de la hoja se separa de la vaina.

Finalmente, la fase reproductiva comienza con la iniciación de la panícula hasta la madurez fisiológica de los granos, cada etapa está identificada por la letra R, comenzando en R0 y terminando en R9. Hay una pequeña superposición entre el final de la aparición de las hojas y el comienzo de la fase reproductiva: desde R0 hasta la aparición de la hoja de bandera, se emiten de tres a cinco hojas, dependiendo de la variedad y el tiempo de siembra (Streck et al., 2008). Esta división se detallará e ilustrará a continuación.

3.6. Fase de desarrollo de la plántula (siembra - emergencia)

S0: Semilla de arroz no embebida, o sea, cuando la semilla aún no ha absorbido agua para comenzar el proceso de germinación. (Figura 3.6.1).

S1: Emergencia del coleóptilo o radícula. En el proceso de germinación, tanto el coleóptilo como la raíz pueden desarrollarse primero. Normalmente, en contacto con el suelo en humedad ideal, la radícula se emite primero, sin embargo, en condiciones de inmersión, como en el caso del sistema pregerminado, el coleóptilo puede emerger antes.

S2: Emergencia del coleóptilo y la radícula. Cuando ambas estructuras ya han emergido.

S3: Emergencia del perfilo. El perfilo es la primera hoja en aparecer, sin embargo, no se considera una hoja verdadera, ya que está compuesto solo por la vaina de la hoja, no presenta lámina ni collar. Se lo conoce popularmente como estadio de “punto de aguja”, y es un momento crucial para el control de malezas.

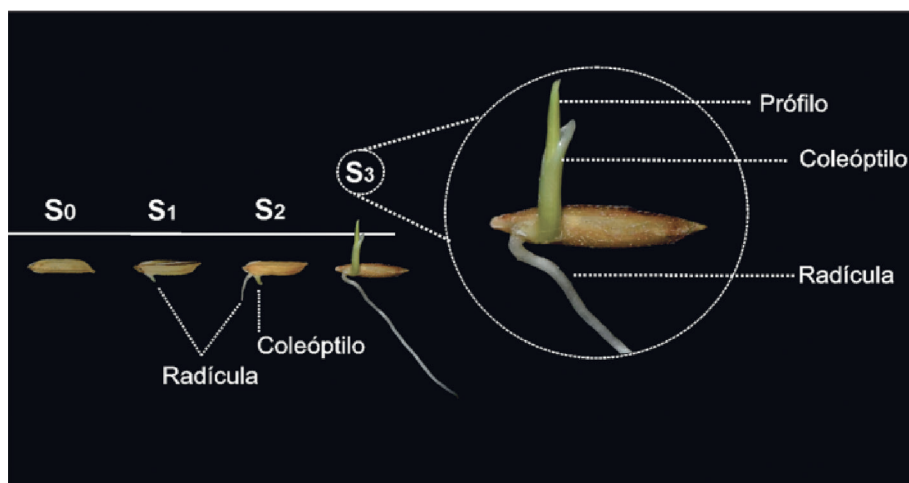


Figura 3.6.1. Fase de siembra a emergencia de la plántula. Fuente: Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

3.7. Fase vegetativa

V1: Primera hoja del tallo principal completamente expandida. La primera hoja con el collar formado (Figura 3.7.1). Es en esta etapa que se forman las primeras raíces nodales o adventicias.

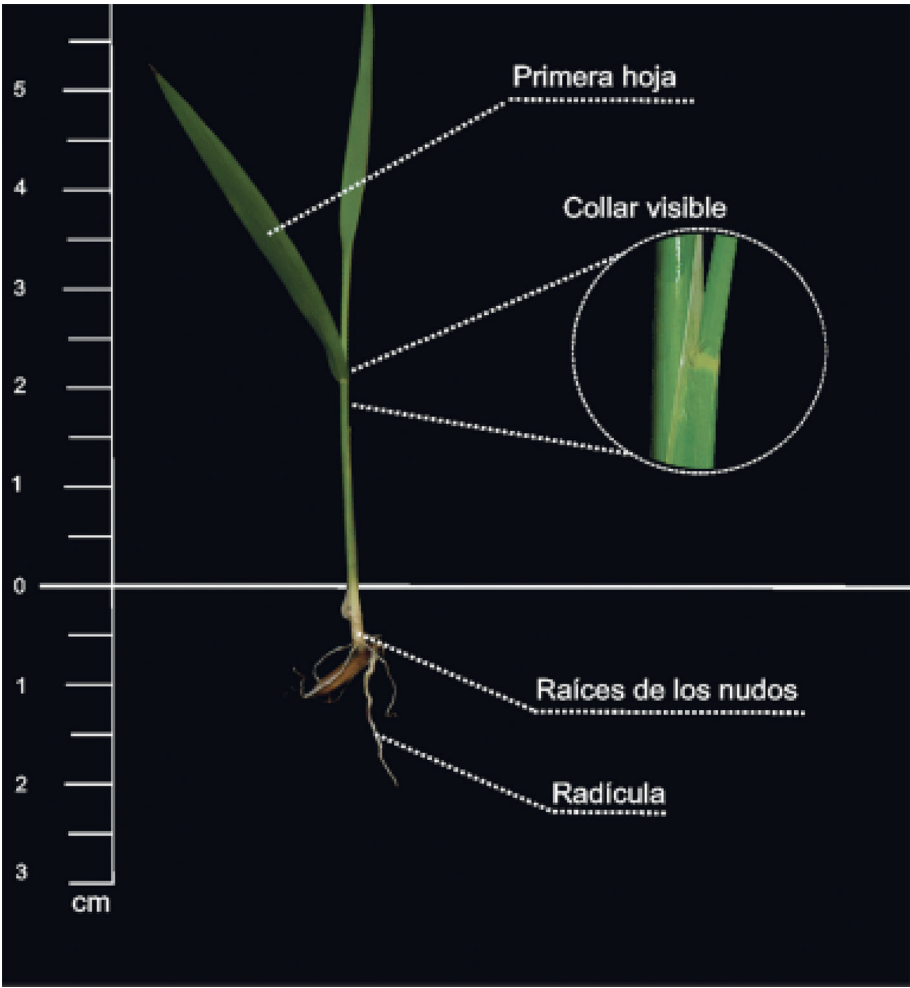


Figura 3.7.1. Estadío V1 en arroz de la escala de Counce et al. (2000). Fuente: Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

V2: Segunda hoja del tallo principal completamente expandida. La segunda hoja con el collar visible.

V3: Tercera hoja del tallo principal completamente expandida (Figura 3.7.2). La tercera hoja con el collar visible. Etapa en la que comienza el macollamiento, que dura hasta aproximadamente V7.

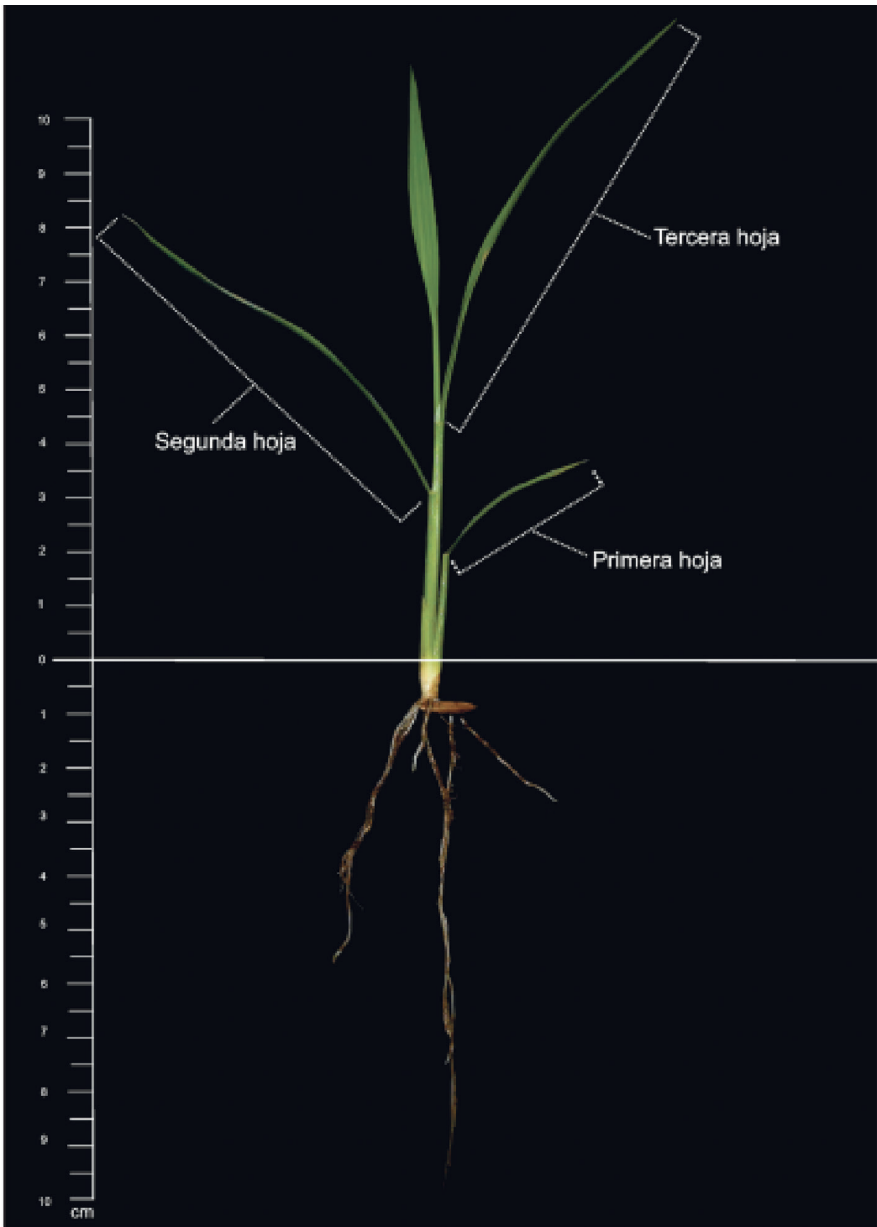


Figura 3.7.2. Estadío V3 en arroz de la Escala de Counce et al. (2000). Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

Vn: Enésima hoja del tallo principal completamente expandida.

VF: Collar de la hoja bandera del tallo principal formado (Figura 3.7.3).

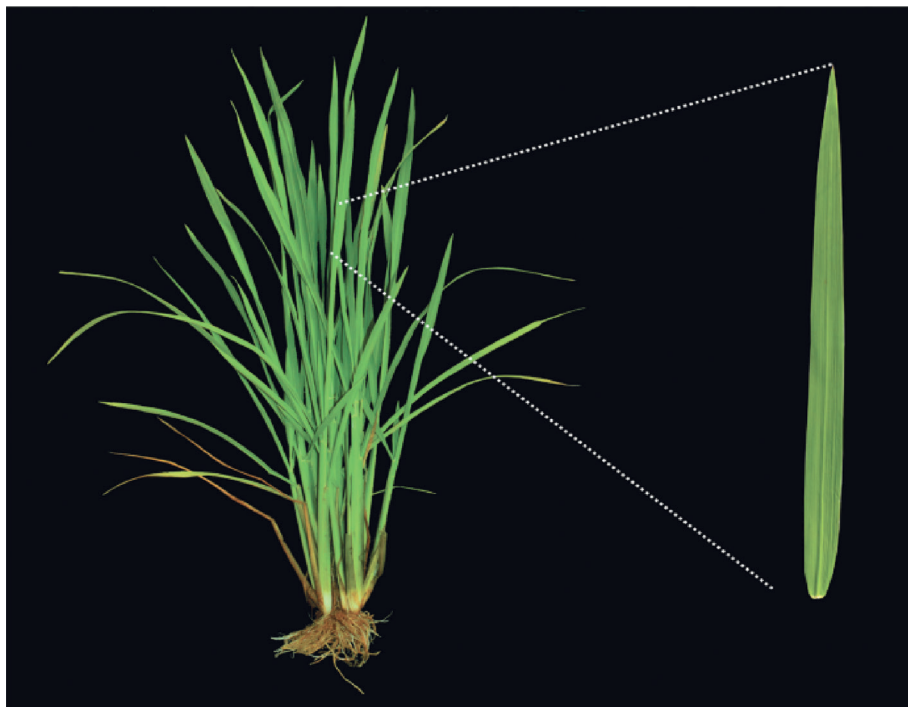


Figura 3.7.3. Estadio VF en arroz de la escala de Counce et al. (2000), mostrando la hoja bandera del tallo principal completamente expandida. Fuente: Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

3.8. Fase reproductiva

R0: Iniciación de la panícula (Figura 3.8.1). Se caracteriza por la diferenciación del meristema apical en la panícula primordial. En esta etapa, comienza la definición del número de granos por panícula.

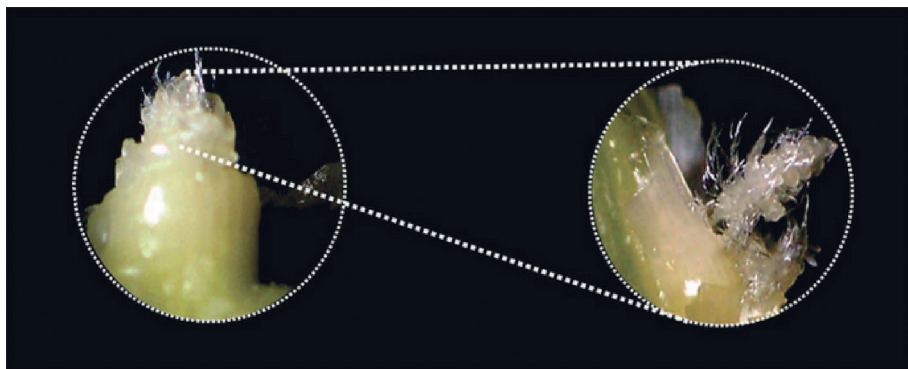


Figura 3.8.1. Estadío R0 en arroz de la escala de Counce et al. (2000), mostrando el ápice meristemático en iniciación de la panícula, tomado con lupa de aumento de 45 veces. Fuente: Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

R1: Diferenciación de la panícula, o punto de algodón. Período en el que se produce la diferenciación de las ramificaciones de la panícula y el alargamiento del tallo, o sea, la planta abandona la fase de “roseta”. Esta etapa se identifica cortando el tallo principal. En la Figura 3.8.2A es posible observar el comienzo del desarrollo de la panícula y en la Figura 3.8.2B unos días después del comienzo, con la panícula más prominente.

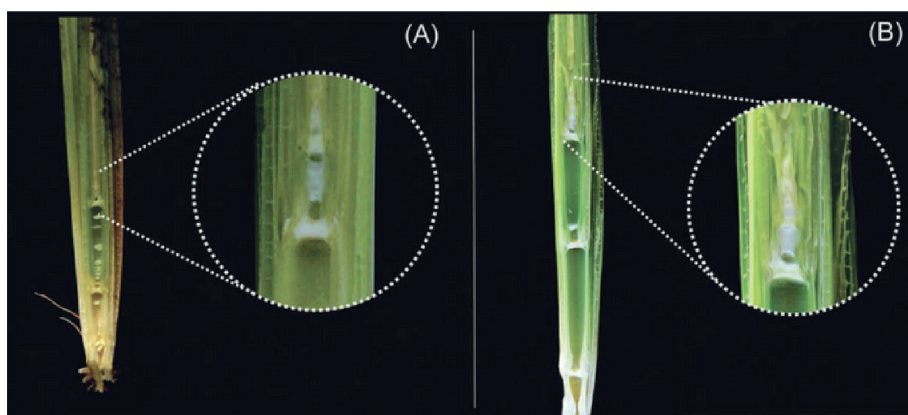


Figura 3.8.2 Estadío R1 en arroz en la escala de Counce et al. (2000). (A) Comienzo del desarrollo de la panícula. (B) Desarrollo avanzado de estructuras diferenciadas. Fuente: Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

R2: Formación del collar en la hoja bandera. Conocido popularmente como embuchado o embarrigado, ocurre cuando hay una formación completa de la última hoja en la parte superior del tallo principal. En ese momento, con la emisión de la última hoja (VF), la planta alcanza el área foliar máxima.

R3: Exerción de la panícula. Se considera cuando la parte superior de la panícula está por encima del collar de la hoja bandera (Figura 3.8.3).

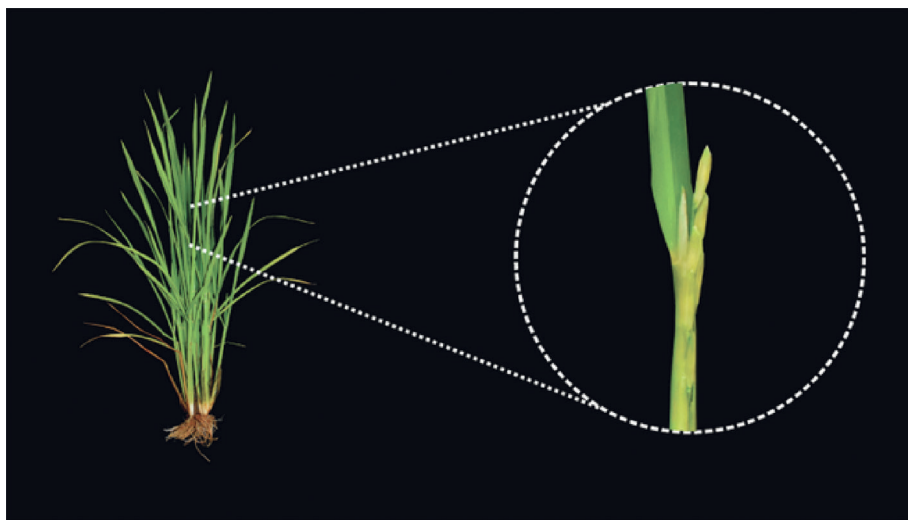


Figura 3.8.3. Estadio R3 en arroz de la escala de Counce et al. (2000). Fuente: Meus et al., 2023 - ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

R4: Antesis. En esta etapa, el 50% de las plantas están en plena floración, cuando el proceso de polinización alcanza su punto máximo (Figura 3.8.4). Además, es durante este período que las plantas alcanzan la altura máxima.

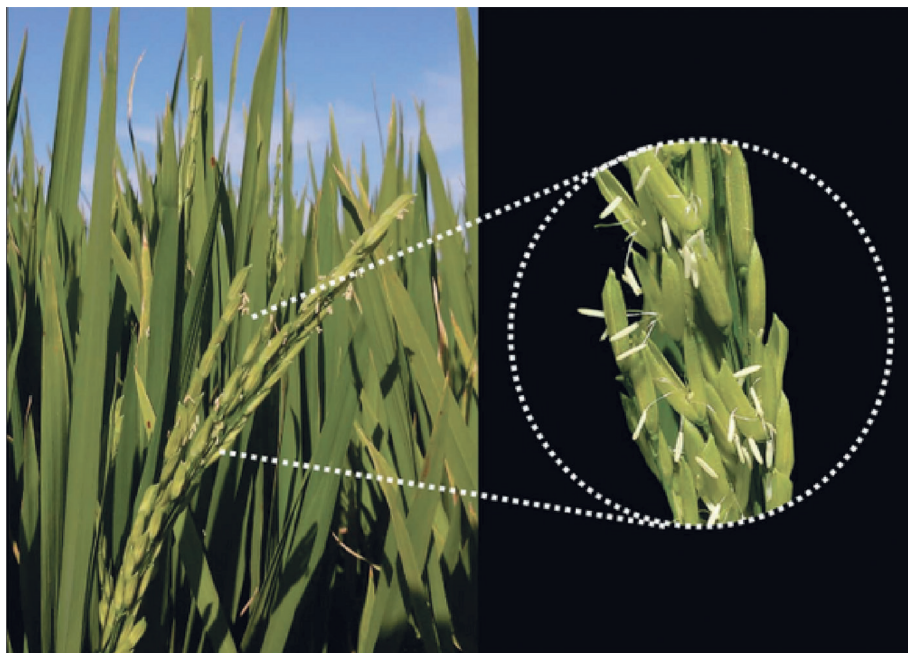


Figura 3.8.4. Estadío R4 en arroz de la escala de Counce et al. (2000). Fuente: Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

R5: Comienzo de llenado de granos.

R6: Expansión de granos en profundidad (máximo tamaño de grano en al menos un cariopside). Comienzo de la etapa del grano lechoso (Figura 3.8.5).

R7: Al menos un grano de la panícula tiene la cáscara con un color típico de la variedad. Etapa de grano pastoso, se mantiene la huella al marcar con la uña del pulgar.

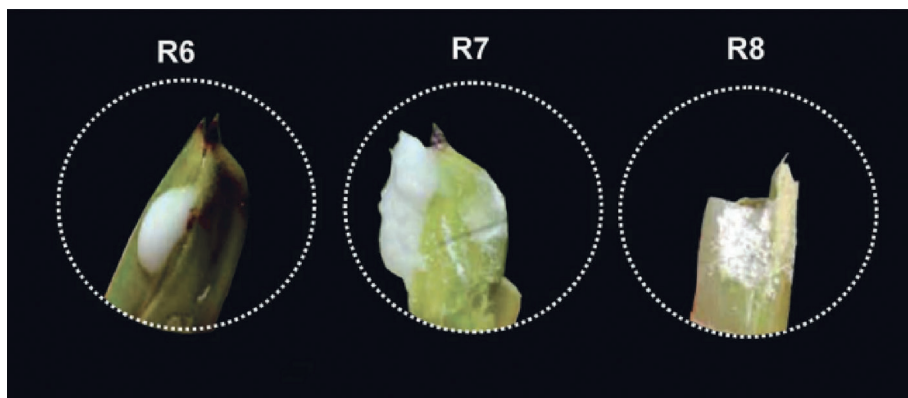


Figura 3.8.5. Estadios R6, R7 e R8 de la escala de Counce et al. (2000). Fuente: Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

R8: Inicio de madurez fisiológica: también llamado grano harinoso duro (Figura 3.8.6) con coloración marrón en algunos granos. La madurez puede comenzar tanto desde la punta de la panícula hasta la base, como también puede comenzar en el centro de la panícula.

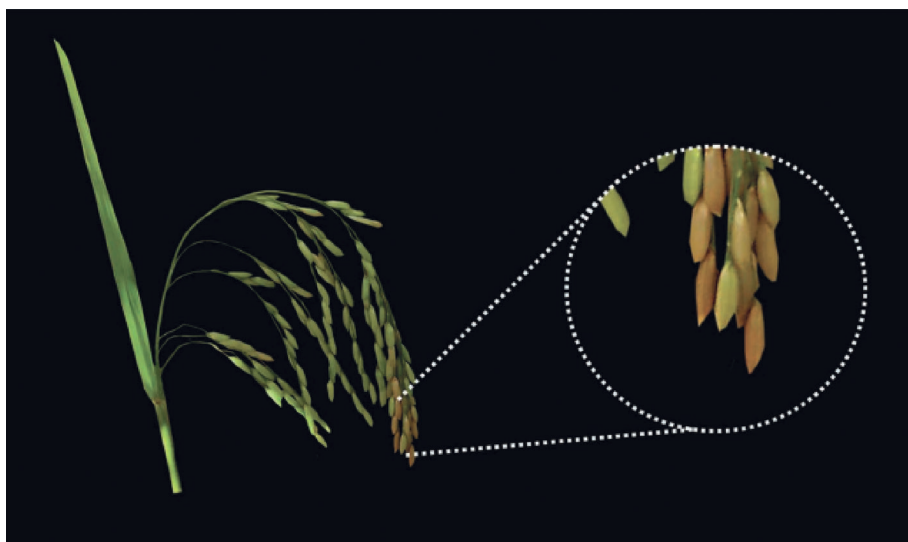


Figura 3.8.6. Estadio R8 en arroz de la escala de Counce et al. (2000). Fuente: Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.

R9: Madurez completa de los granos de panícula. Todos los granos tienen un color característico de la variedad, en este momento no hay más translocación de fotoasimilados a los granos y ya están en su peso seco máximo (Figura 3.8.7).

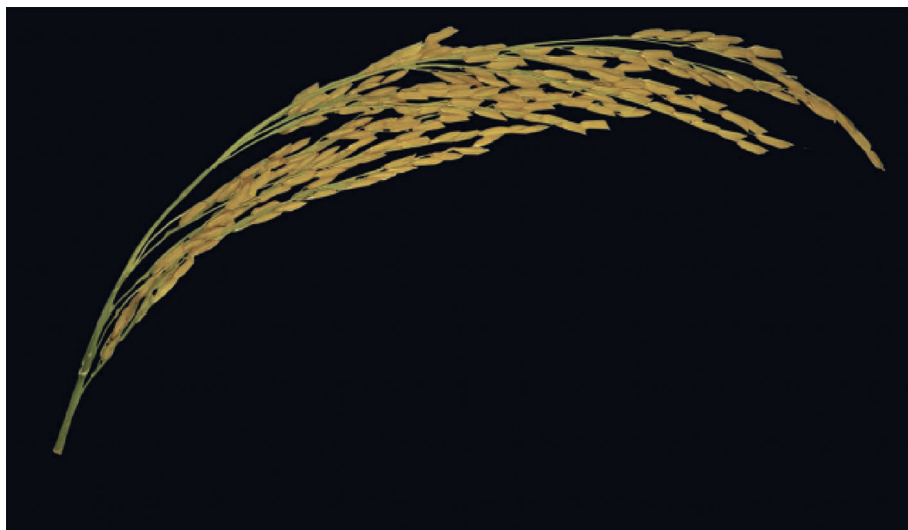
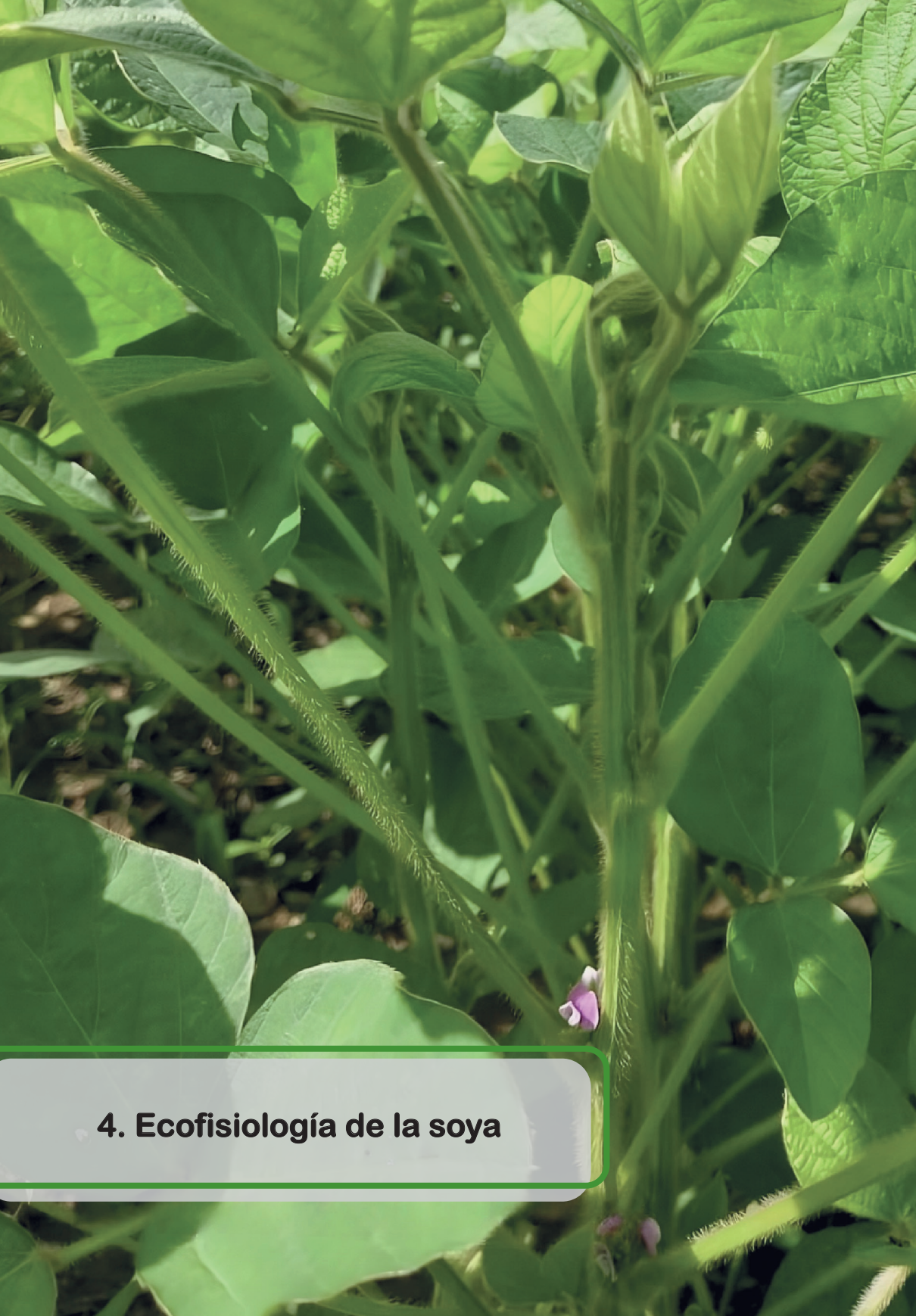


Figura 3.8.7. Estadio R9 en arroz de la escala de Counce et al. (2000). Fuente: Meus et al., 2023 - Ecofisiología del arroz buscando altos rendimientos.



4. Ecofisiología de la soya

4.1. Botánica y morfología

La soya es una especie diploide (2n) con 40 cromosomas, autógama, herbácea y anual (Kiang & Gorman, 1983). Su posición taxonómica pertenece a la subdivisión Angiospermae, clase Dicotyledoneae, orden Rosales, familia Fabaceae, subfamilia Papilionaceae, tribu Phaseoleae, género *Glycine* L., y especie *Glycine max* (L.) Merrill (Carlson, 1973).

Durante la germinación y emergencia, los cotiledones se elevan sobre la superficie del suelo debido al considerable crecimiento del hipocótilo (emergencia epigea), diferenciándose de una hoja verdadera por su forma ovalada elíptica. El tallo de la soya se desarrolla a partir del eje embrionario después del inicio de la germinación, siendo de tipo herbáceo erecto, pubescente y ramificado. El sistema radicular de la soya consta de una raíz pivotante principal y raíces secundarias. Durante el ciclo de desarrollo, la planta de soya presenta dos tipos de hojas: unifoliadas y trifoliadas, cuyo tamaño, forma y posicionamiento, pueden diferir entre cultivares y fechas de siembra. Las dos hojas unifoliadas son las primeras hojas verdaderas y tienen un solo folíolo, colocado de manera opuesta en el primer nudo, por encima del nudo cotiledonario. Las hojas trifolioladas (hojas con tres folíolos) son las siguientes hojas verdaderas que aparecen sobre el tallo, y provienen de los nudos del tallo principal emitidos sobre las hojas unifoliadas, o de los nudos de las ramas, dispuestas alternadamente en forma dística (Figura 4.1.1).

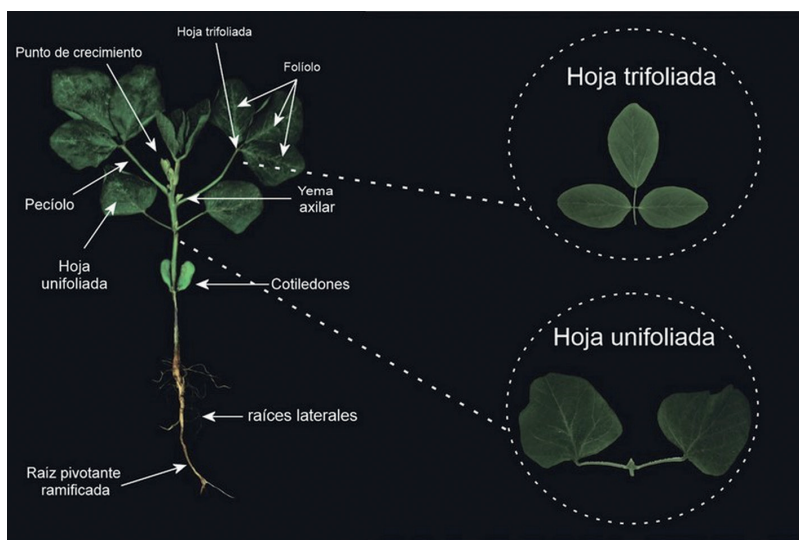


Figura 4.1.1. Planta de soja y sus estructuras morfológicas, antes de empezar la floración. Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soja buscando altos rendimientos.

Las flores de la soja son completas, de color blanco o púrpura, y ocurren en racimos terminales o axilares (Figura 4.1.2a-b y Figura 4.1.3a-b).



Figura 4.1.2. Dos plantas de soja; (A) planta con flor blanca, (B) planta con flor morada. Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soja buscando altos rendimientos.

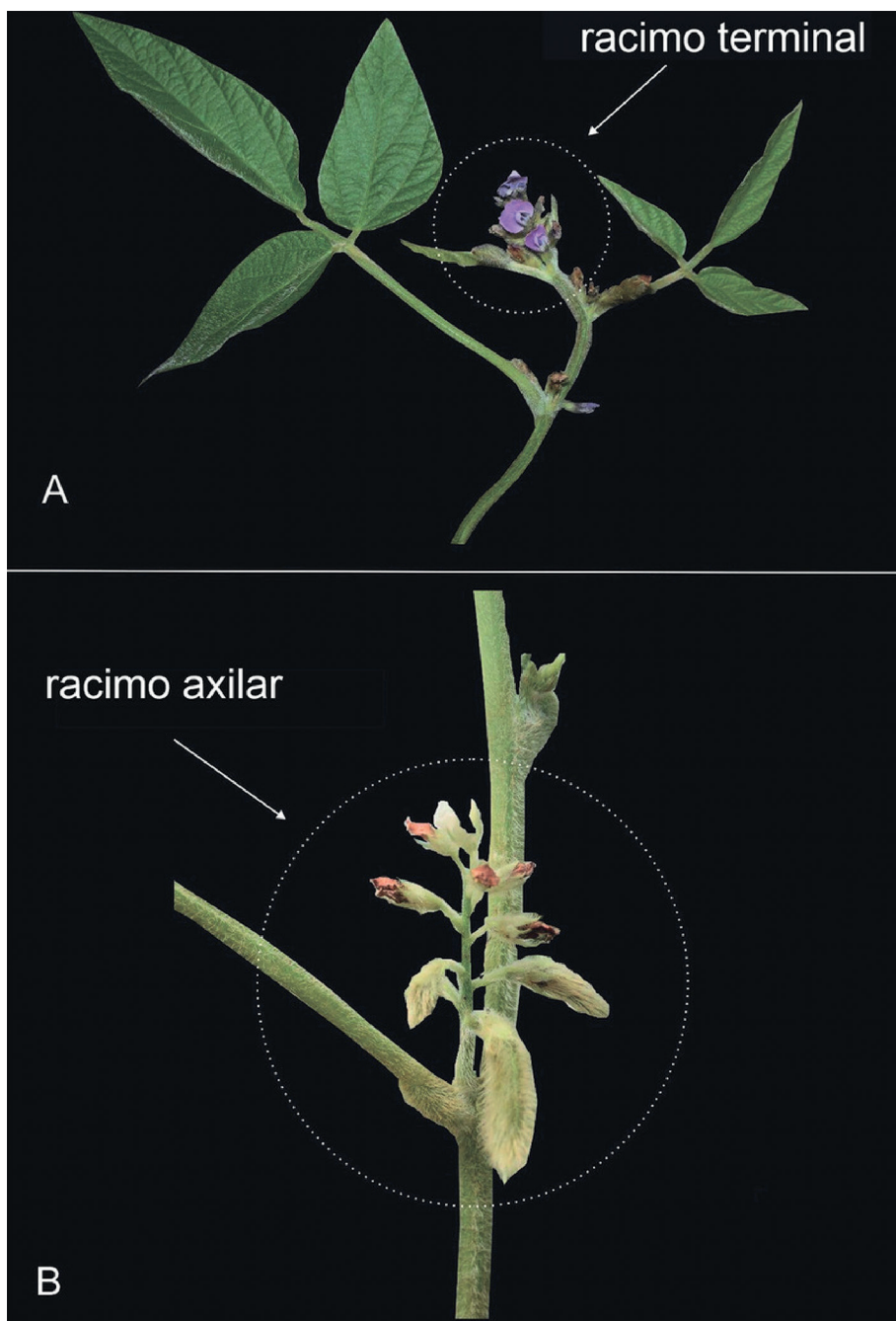


Figura 4.1.3. (A) Racimo terminal y (B) racimo axilar, en la planta de soya. Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

El fruto de la soya proviene de dos valvas de un carpelo simple, denominándose vaina. Es plano, recto a ligeramente curvado, pubescente y dehiscente, y generalmente de 2 a 7 cm de largo, dependiendo del cultivar y de las condiciones del suelo y del clima. La vaina tiene de una a cinco semillas (Figura 4.1.4 y Figura 4.1.5), sin embargo, la mayoría de los cultivares tienen de dos a tres semillas. El color de la vaina madura puede variar de amarillo pajizo a marrón, que difiere según el cultivar.



Figura 4.1.4. Número de granos por vaina en la soya. Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

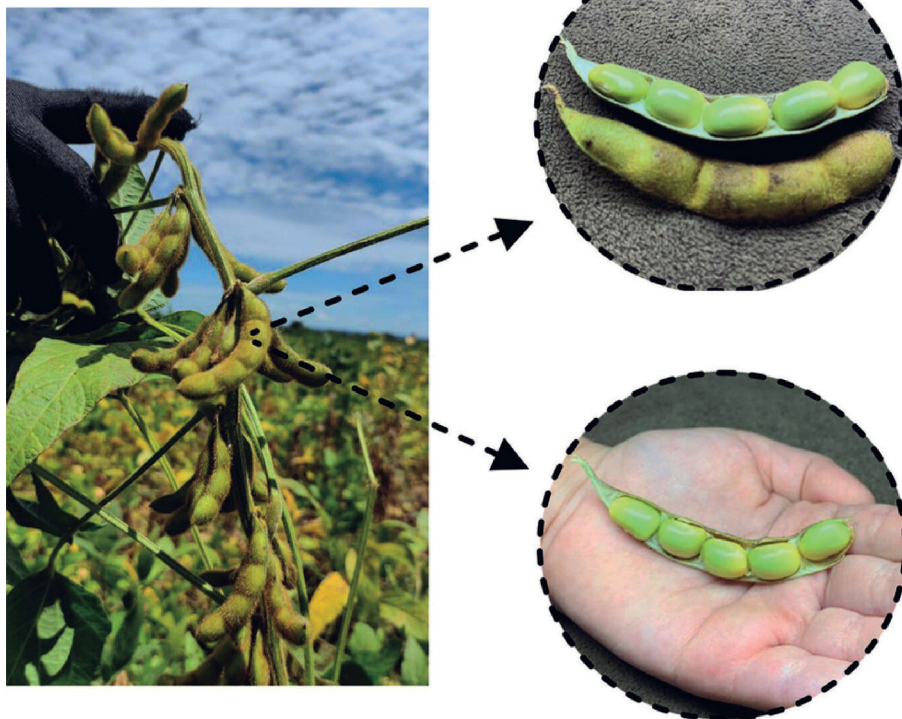


Figura 4.1.5. Vaina de soya con 5 granos. Foto de Cleiton Renato Casa-grande, Porto Nacional, Tocantins, Brasil. Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

La semilla de la soya está formada por una envoltura llamada tegumento. Hay variaciones en la forma, el tamaño y el color del tegumento, el color del hilo y el color del cotiledón. La forma de la semilla es variable y puede ser globosa, elipsoidal y ovalada. El tegumento contiene el hilo, y en su extremo, el micrópilo. Debajo de este, se encuentra el hipocótilo.

4.2. Escala fenológica

La fenología es el estudio de cómo se desarrollan las plantas. Seguir la fenología en un cultivo de soya es considerar la “edad fisiológica” de la planta en lugar de la “edad cronológica”. La primera representa con mayor exactitud el momento en que

se encuentra la planta, y define con mayor precisión las condiciones ambientales y de manejo favorables para cada estadio de desarrollo. La escala fenológica o escala de desarrollo, es la caracterización de los estadios fenológicos y la estandarización de la terminología de manera objetiva y precisa. Las escalas fenológicas de los cultivos agrícolas son fundamentales para la comunicación entre investigadores, extensionistas, asistentes técnicos y agricultores, ya que las prácticas de manejo se definen de acuerdo con la fenología del cultivo. Durante todo el ciclo de desarrollo, la fenología se ve influenciada por varios factores que pueden retrasar o adelantar el ciclo de desarrollo de la soya y, en consecuencia, afectar el rendimiento final. Considerando la importancia de la fenología para el manejo y la definición del potencial productivo del cultivo de la soya, en la siguiente sección se describirá la escala fenológica principal para el cultivo de la soya a nivel mundial, propuesta por Fehr y Caviness (1977).

4.2.1. Escala fenológica de Fehr y Caviness (1977)

La escala de Fehr y Caviness (1977) se divide en dos fases: la fase vegetativa y la fase reproductiva. La fase vegetativa se describe con la letra V, el estado de emergencia se indica con la letra V seguida de la letra E (VE) mientras que el estado de emergencia de los cotiledones se indica con la letra V seguida de una letra C (VC). Siguiendo la secuencia de desarrollo de la planta de soya, la letra V seguida de un número que va del 1 al n, indica el número de hojas completamente desarrolladas en la planta en un momento dado. Una hoja, se considera completamente desarrollada, cuando en el ápice del tallo principal, la hoja inmediata superior, no se tocan los bordes de cada folíolo. La fase reproductiva se describe con la letra R, seguida de un número que va del 1 al 8, indicando estos números, el estadio de formación de flores, vainas o granos.

El estadio de desarrollo de un cultivo de soya se determina cuando al menos el 50% de las plantas cuentan con las características y criterios que lo definen.

4.3. Fase vegetativa

VE: Emergencia del cultivo. Este estadio se alcanza cuando el 50% de las plantas presentan los cotiledones por encima del suelo, formando un ángulo de 45° o más (Figura 4.3.1).



Figura 4.3.1. Estadio de emergencia (VE) de la soya en la escala de Fehr y Caviness (1977). Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

VC: Estadio de cotiledón. Las hojas unifoliadas están lo suficientemente extendidas para que los bordes no se toquen (Figura 4.3.2).

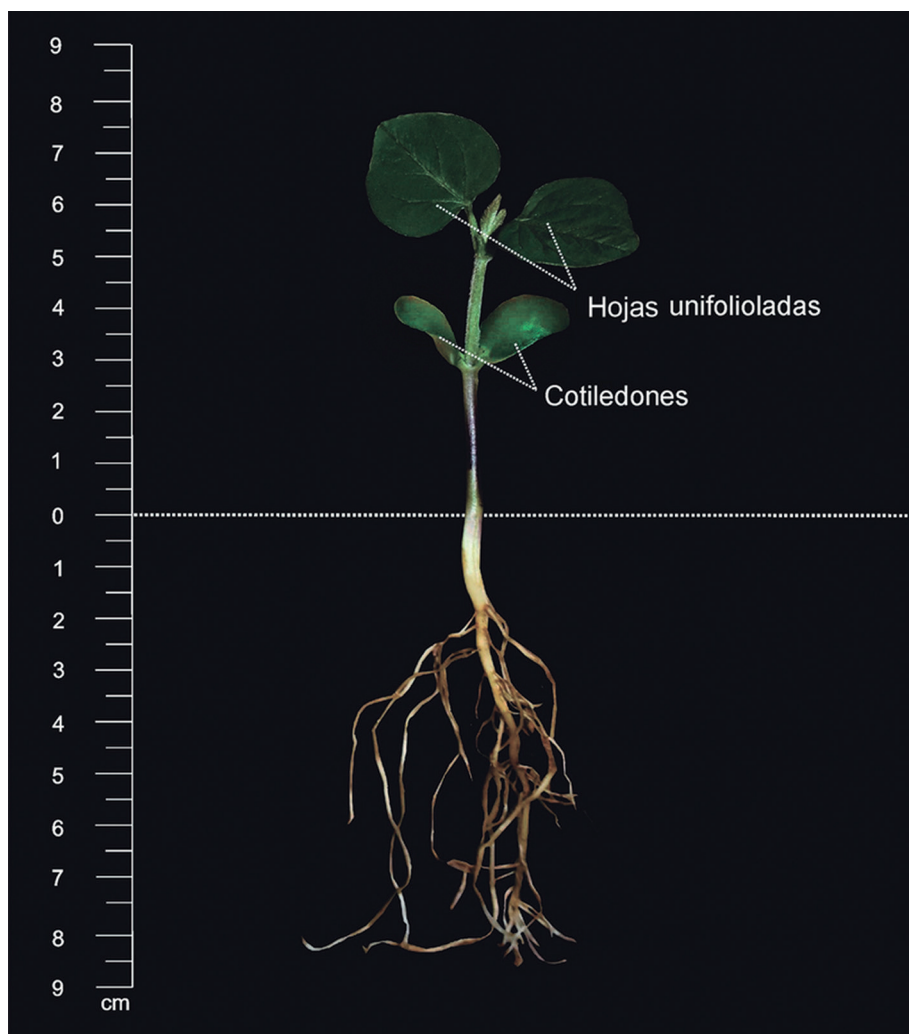


Figura 4.3.2. Estadio de cotiledón (VC) de la soya en la escala de Fehr y Caviness (1977). Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

V1: Hoja unifoliada completamente desarrollada (Figura 4.3.3). La hoja unifoliada solo se cuenta o se denomina hoja desarrollada si los bordes de los folíolos de la hoja inmediatamente superior ya no se tocan.

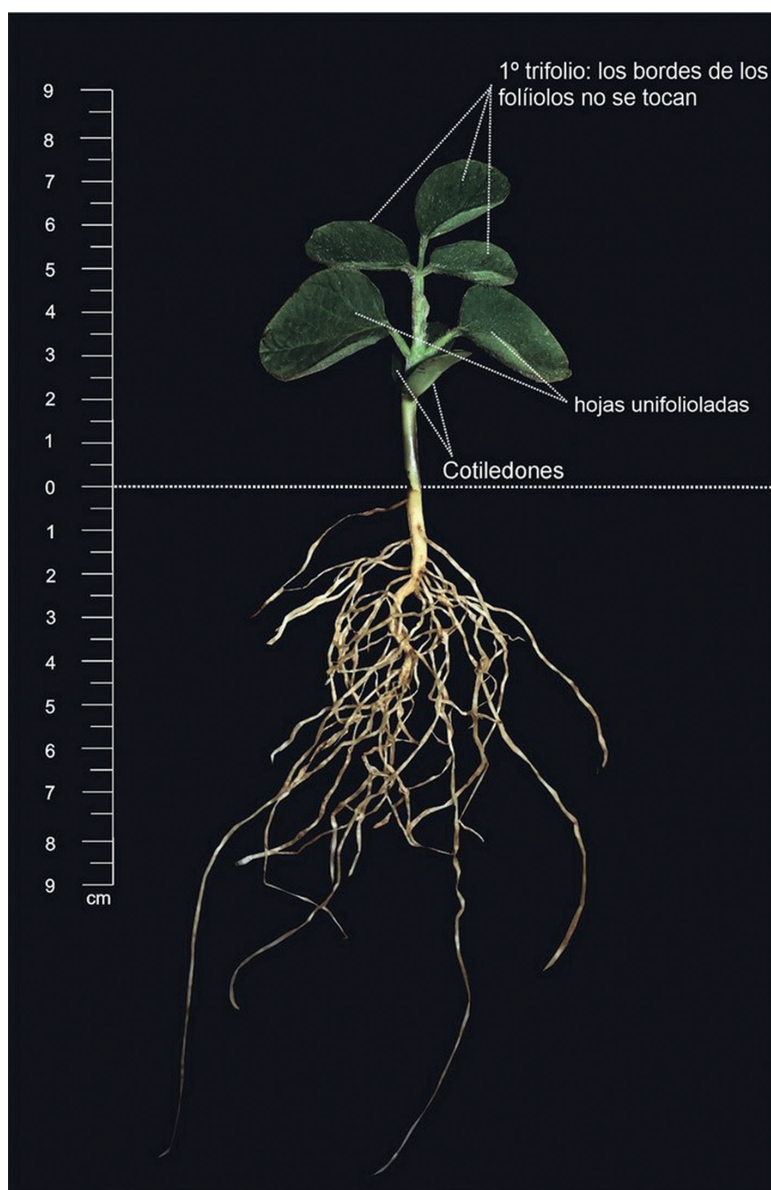


Figura 4.3.3. Estadío V1 de la soya en la escala de Fehr y Caviness (1977). Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

V2: Primera hoja trifoliada completamente desarrollada (Figura 4.3.4). La primera hoja trifoliada solo se cuenta o se denomina hoja desarrollada, si la hoja inmediatamente superior ya no tiene los bordes de los folíolos en contacto.

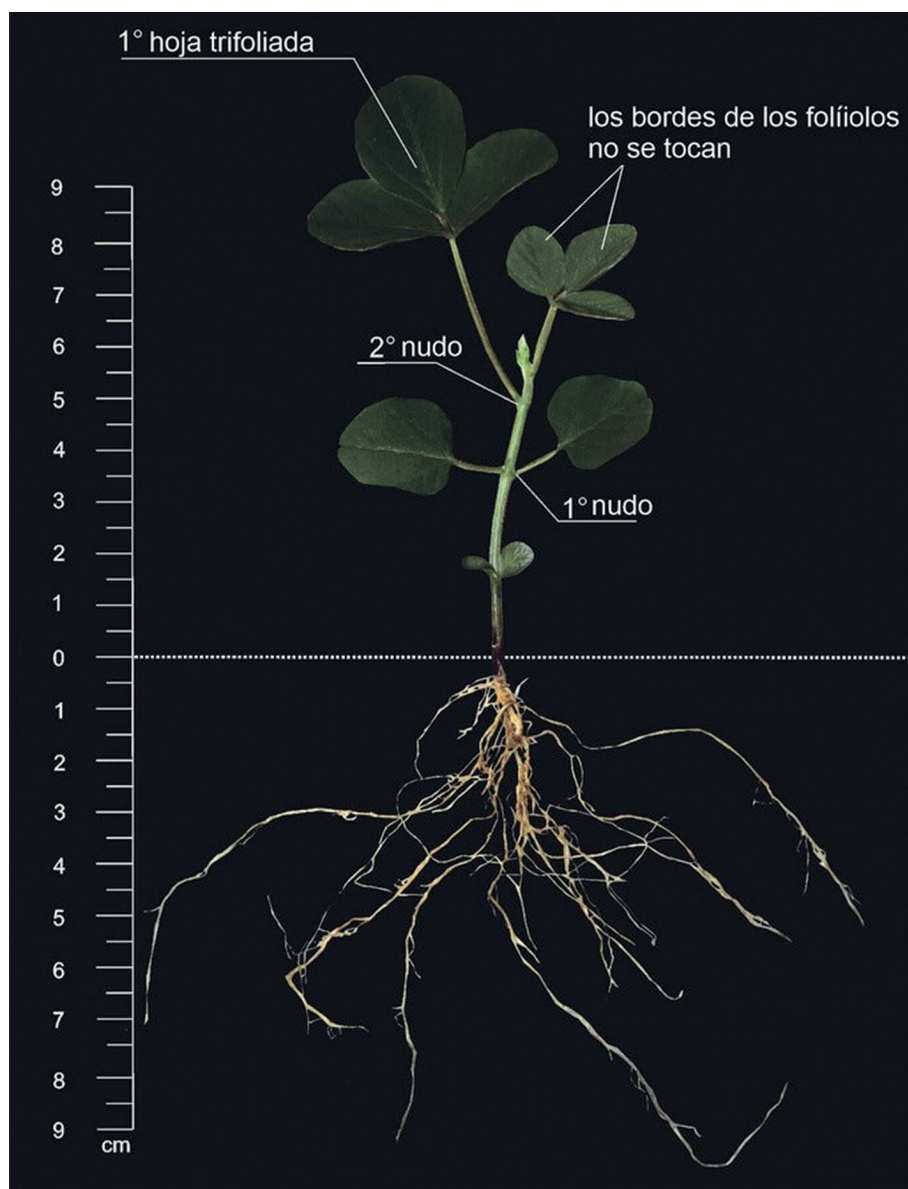


Figura 4.3.4. Estadío V2 de la soya en la escala de Fehr y Caviness (1977). Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

V3: Segunda hoja trifoliada totalmente desarrollada (Figura 4.3.5). La segunda hoja trifoliada solo se cuenta o se denomina hoja desarrollada, si la hoja inmediatamente superior ya no tiene los bordes de los folíolos tocándose.

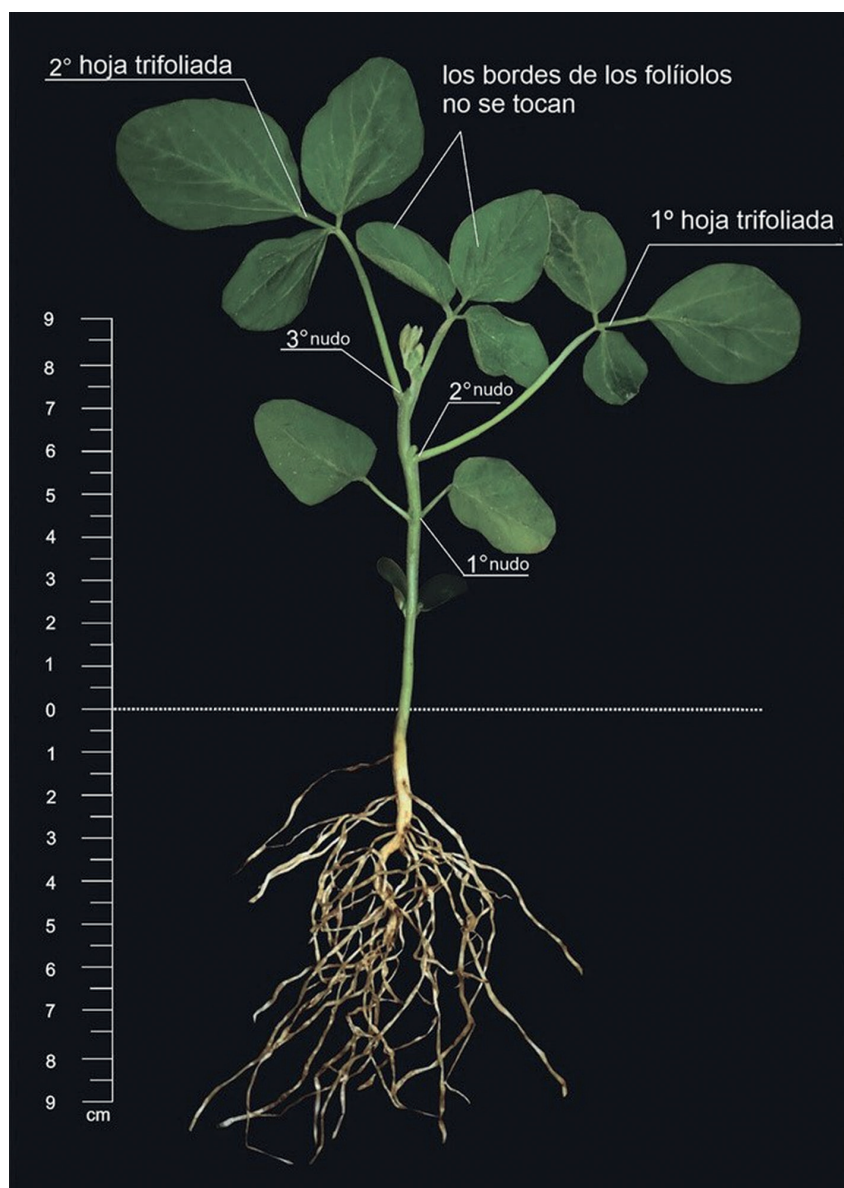


Figura 4.3.5. Estadío V3 de la soja en la escala de Fehr y Caviness (1977). Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soja buscando altos rendimientos.

Vn: n hojas trifolioladas totalmente desarrolladas sobre el tallo principal, a partir de las hojas unifoliadas. La última hoja se considerará desarrollada, cuando presente más del 75% del tamaño final y del mismo color que las hojas que se insertan debajo del tallo principal (Figura 4.3.6). La emisión de la última hoja en plantas con cierto tipo de crecimiento, ocurre entre R1 y R3 y, en plantas indeterminadas, en R5 (Zanon et al., 2015a).

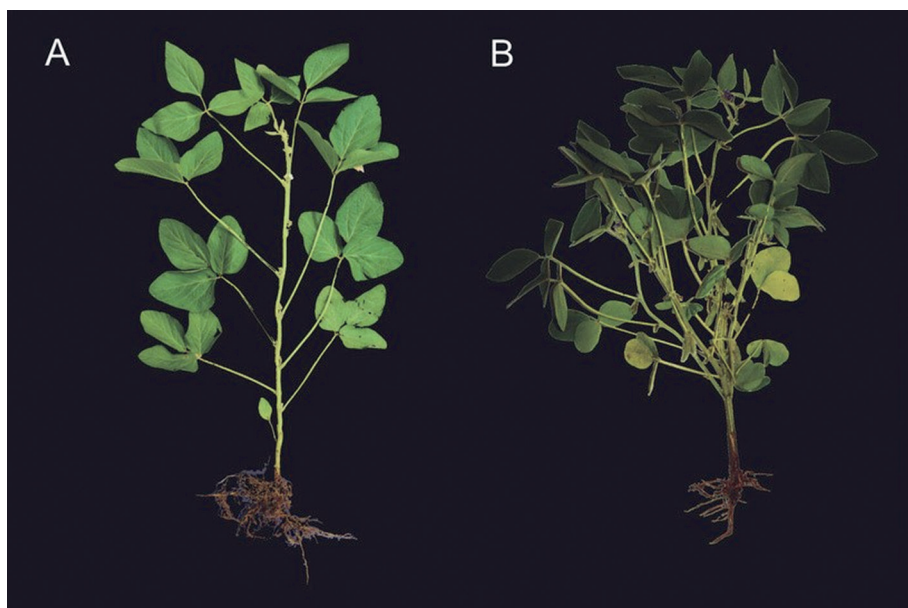


Figura 4.3.6. Vn (número final de hojas) de cultivares de soya con tipo de crecimiento determinado (A) e indeterminado (B). Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

4.4. Fase reproductiva

R1: Comienzo de la floración. Una flor abierta en cualquier nudo del tallo principal (Figura 4.4.1).



Figura 4.4.1. Soya en el estadio R1 según la escala de Fehr y Caviness (1977), mostrando la primera flor abierta en el tallo principal. Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

R2: Plena floración. Una flor abierta en uno de los dos últimos nudos del tallo principal, con hojas completamente desarrolladas (Figura 4.4.2).



Figura 4.4.2. Estadío R2 de la soya en la escala de Fehr y Caviness (1977), mostrando una flor abierta en uno de los dos últimos nudos del tallo principal, con hojas completamente desarrolladas. Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

R3: Inicio de la formación de vainas. Vaina de 0.5 cm de largo en cualquiera de los últimos cuatro nudos del tallo principal, con hojas completamente desarrolladas. Estadío conocido como “carnivete” [cuchillo o navaja] por los productores (Figura 4.4.3).



Figura 4.4.3. Estadío R3 de la soya en la escala de Fehr y Caviness (1977), mostrando una vaina a 0.5 cm de longitud. Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

R4: Formación de vainas. Planta con 2 cm de largo en cualquiera de los últimos cuatro nudos del tallo principal, con hojas totalmente desarrolladas (Figura 4.4.4).



Figura 4.4.4. Estadío R4 en la soya en la escala de Fehr y Caviness (1977), mostrando una vaina de 2.0 cm de longitud. Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

R5: Inicio del desarrollo del grano. Presencia de granos de 3 mm de largo en la vaina, en uno de los últimos cuatro nudos del tallo principal, con hojas completamente desarrolladas (Figura 4.4.5).

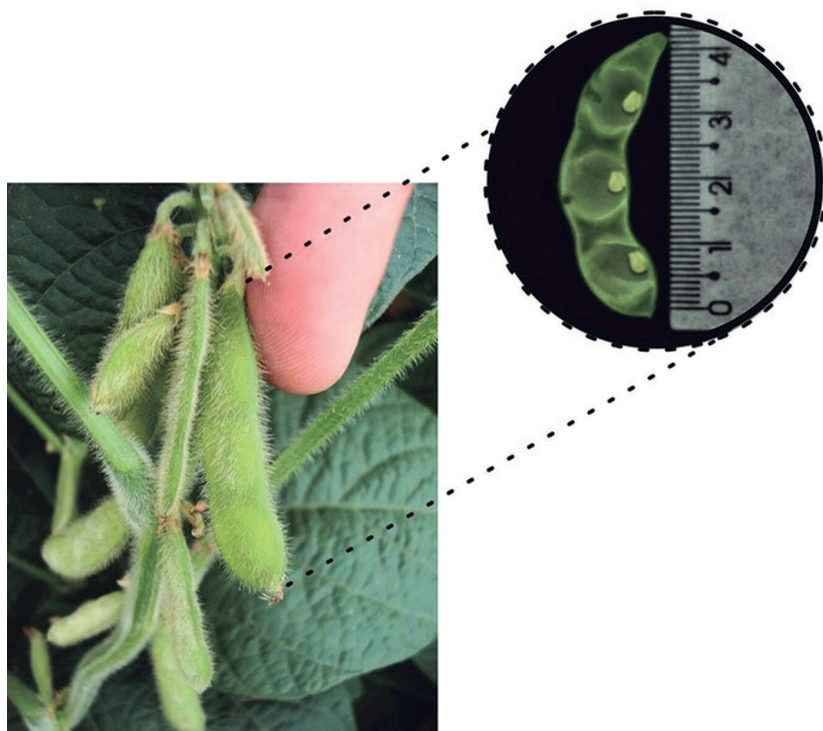


Figura 4.4.5. Estadio R5 de la soja en la escala de Fehr y Caviness (1977), mostrando la presencia de granos de 3 mm de longitud. Foto: Bruno Kräulich (in memoriam). Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soja buscando altos rendimientos.

Yorinori (1996) adaptó la escala fenológica propuesta por Fehr y Caviness (1977) para satisfacer las demandas de las prácticas de manejo del cultivo de la soja en Brasil, subdividiendo el estadio R5 en cinco subestadios del 1 al 5 (Figura 4.4.6).

R5.1: Granos perceptibles al tacto (equivale al 10% de la granación);

R5.2: Granación de 11% al 25%;

R5.3: Granación de 26% al 50%;

R5.4: Granación de 51% al 75%;

R5.5: Granación de 76% al 100%.



Figura 4.4.6. Subdivisión del estadio R5 de la soya en la escala de Fehr y Caviness (1977) propuesta por Yorinori (1996). Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

R6: Grano lleno o completo. Granos verdes llenando las cavidades de la vaina en uno de los últimos cuatro nudos del tallo principal, con hojas completamente desarrolladas (Figura 4.4.7).

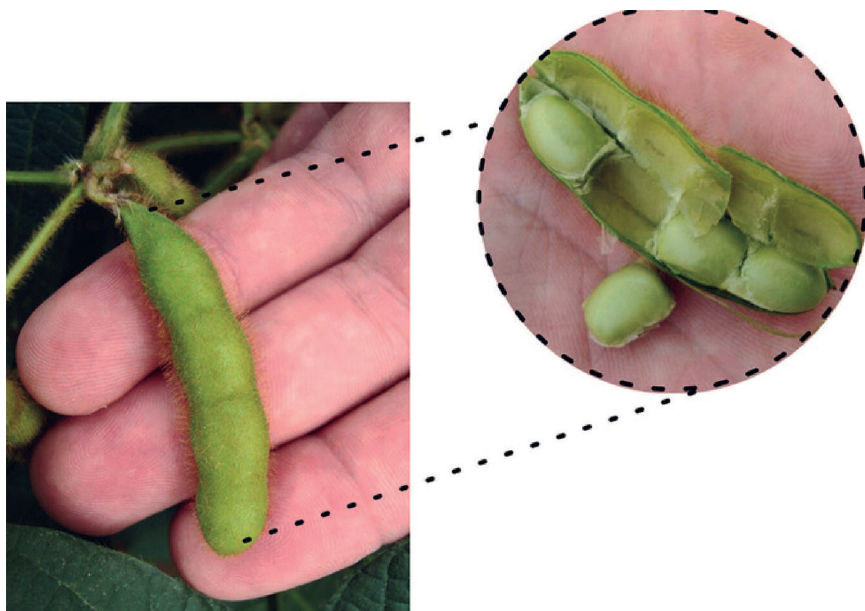


Figura 4.4.7. Estadío R6 de soya en la escala de Fehr y Caviness (1977), mostrando las cavidades de la vaina llenas. Foto: Bruno Kräulich (in memoriam). Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

R7: Inicio de la maduración – maduración fisiológica. Presencia de una vaina de color maduro en el tallo principal (Figura 4.4.8).



Figura 4.4.8. Estadío R7 en la escala de Fehr y Caviness (1977), mostrando la presencia de una vaina madura (p. ej. color café-amarillo claro) en el tallo principal. Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soja buscando altos rendimientos.

R8: Madurez de cosecha. Presencia del 95% de vainas en color maduro en el tallo principal (Figura 4.4.9).



Figura 4.4.9. Estadío R8 en la escala de Fehr y Caviness (1977), mostrando la presencia del 95% de las vainas de color maduro. Fuente: Tagliapietra et al., 2022. Ecofisiología de la soya buscando altos rendimientos.

A photograph of a rice field during harvest. The rice plants are tall and golden-brown, indicating maturity. The field is densely packed with plants, and the perspective shows rows receding into the distance. The sky is a clear, bright blue. In the background, a line of trees is visible on the horizon.

5. Potencial y brechas de rendimiento

5.1. Potencial de rendimiento, potencial de rendimiento de secano, rendimiento alcanzable y rendimiento promedio

El potencial de rendimiento (Pr) es definido por la cantidad de radiación solar, temperatura del aire, concentración de dióxido de carbono atmosférico (CO_2) y características genéticas. Para definir que es el potencial de rendimiento de secano (Prs) se toman en cuenta las mismas variables que el Pr y además, se considera la disponibilidad y distribución de agua durante el ciclo del cultivo, como también la capacidad de agua disponible del suelo (Van Ittersum et al., 2013). En términos económicos, alcanzar el Pr (para cultivos bajo riego) o el Prs (para cultivos de secano) no es rentable a nivel comercial, pues exigiría una intensidad de prácticas de manejo que tornaría la producción insustentable. De esta forma, el potencial de rendimiento alcanzable (Pa) es cuando producimos 80% de Pr o Prs (Lobell et al., 2009; Van Ittersum, 2013; Monzon et al., 2021).

El rendimiento promedio (Pm) es definido por el rendimiento promedio actual de los productores por unidad de área (hectarea) (Figura 5.1.1).

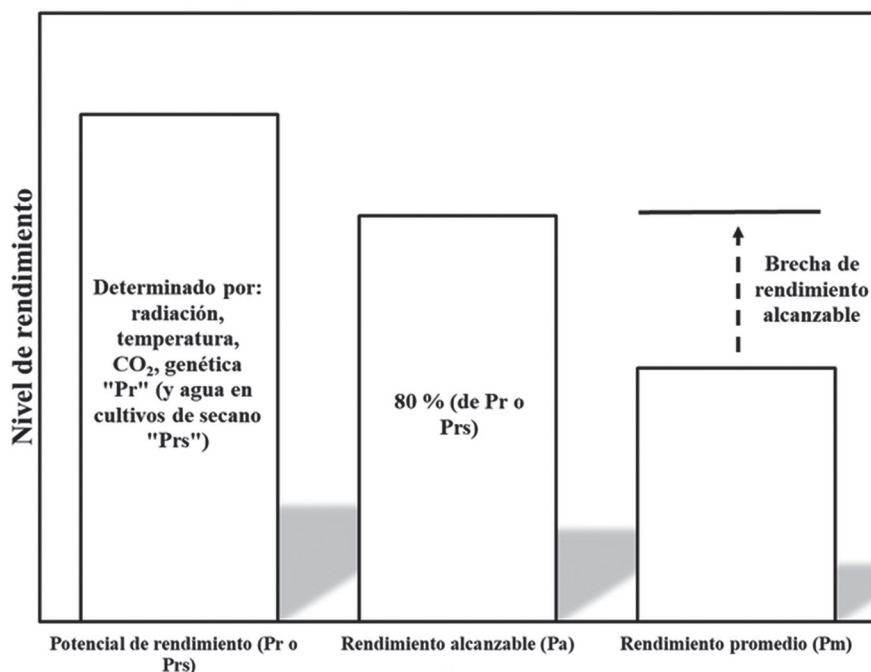


Figura 5.1.1. Representación del potencial de rendimiento (Pr), potencial de rendimiento de secano (Prs), rendimiento alcanzable (Pa), rendimiento medio de las fincas (Pm).

5.2. Brechas de rendimiento

Se entiende por brechas de rendimiento a la diferencia registrada entre distintos niveles de rendimiento. En la Figura 5.2.1, presentamos los principales niveles de brechas de rendimiento.

$$\text{Brecha de rendimiento total (Brt)} = \text{Pr} - \text{Pm}$$

$$\text{Brecha de rendimiento por agua (Brs)} = \text{Pr} - \text{Prs}$$

$$\text{Brecha de rendimiento por manejo (Brm)} = \text{Pr o Prs} - \text{Pm}$$

$$\text{Brecha de rendimiento alcanzable (Bpa)} = \text{Pa (80\% de Pr o Prs)} - \text{Pm}$$

En el presente documento, para Venezuela vamos a presentar la brecha de rendimiento alcanzable (Bpa), pues ese nivel representa cuanto es posible aumentar el rendimiento medio del país. No obstante, antes será presentado una breve contextuali-

zación sobre el potencial y las brechas de rendimiento de arroz y soya en el mundo.

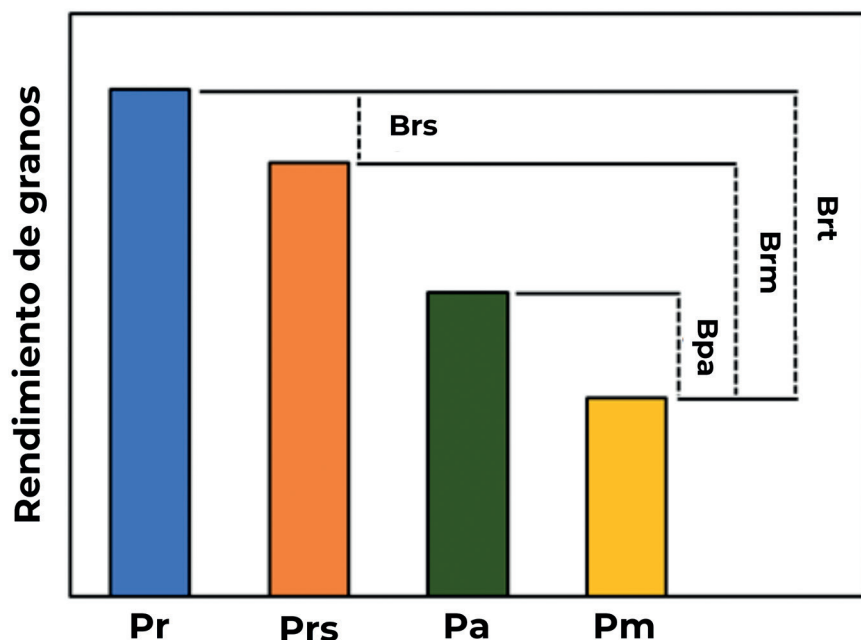


Figura 5.2.1 Representación del potencial de rendimiento (Pr), potencial de rendimiento de secano (Prs), rendimiento alcanzable (Pa), rendimiento medio de las fincas (Pm), brecha de rendimiento por agua (Brs), brecha de rendimiento total (Brt), brecha de rendimiento por manejo (Brm) y brecha de rendimiento alcanzable (Bpa).

Teniendo en cuenta las condiciones ambientales favorables para la producción de granos en el país y la gran dependencia de importación principalmente de arroz y soya, este trabajo fue desarrollado enfocado en el sistema de producción de esos dos cultivos. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) cerca de 50% del arroz y 90% de la soya en el país, provienen de la importación, hecho que torna al país rehén de las oscilaciones y sanciones del mercado internacional (ONUDI, 2022).

A partir de eso, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), la Fundación Nacional de

Arroz y Soya de Venezuela (FUNDARROZ y FONDESOYA), el Fondo Latino Americano de arroz de Riego (FLAR) y el Equipo FieldCrops de la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM), a través de un acuerdo de cooperación técnica firmado para la ejecución del “Proyecto Piloto ST 52: Incrementar rendimientos en soya y arroz: Incorporando tecnologías digitales y protocolos agronómicos innovadores”, para estimar el potencial de rendimiento y las brechas de rendimiento de las principales regiones, buscamos estimar cuanto es posible aumentar la producción de arroz y soya en el país. Además, a través del análisis de datos colectados directamente de los campos de arroz y soya de Venezuela, por Tarmar Lopez extensionista de FUNDARROZ, fue posible identificar cuáles son los factores de manejo que diferencian los campos de altos rendimientos de aquellos de bajos rendimientos, tanto para arroz como para soya.



6. Global Yied Gap Atlas

El Global Yield Gap Atlas (GYGA) es un protocolo global aprobado por la comunidad científica (Grassini et al., 2014; Van Bussel et al., 2015; Van Wart et al., 2013; De Groot et al., 2017; Marin et al., 2016; Aramburu Merlos et al., 2015; Wolf et al., 2015) que tiene como objetivo estimar cuanto es posible producir de alimentos en cada hectárea cultivable alrededor del mundo con el mínimo de impacto ambiental. A partir del GYGA, es posible identificar las regiones del globo con mayor potencial de aumento de producción de forma vertical, o sea, por el aumento de los rendimientos de los cultivos. Para eso, ya fueron estimados el potencial de rendimiento, el potencial de rendimiento de secano y las brechas de rendimiento de 13 cultivos, en 70 países, en los 6 continentes (Figura 6.1). Fue estimado el potencial y las brechas de rendimientos en los países responsables por el 88, 76, 55 y 71% de producción global de arroz, maíz, trigo y soja, respectivamente. Estos datos son públicos y están disponibles en: www.yieldgap.org.

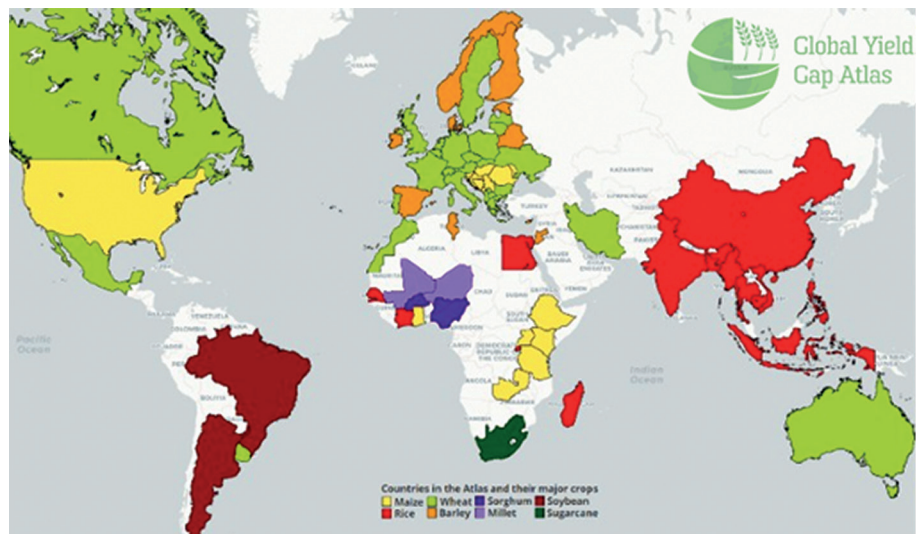


Figura 6.1. Países que hacen parte del GYGA y su principal cultivo agrícola (colores). Maíz (amarillo), arroz (rojo claro), trigo (verde claro), cebada (anaranjado), sorgo (morado oscuro), mileto (morado claro), soja (vinotinto) y caña de azúcar (verde oscuro). Fuente: GYGA (www.yieldgap.org).

6.1. Metodología

El proyecto en Venezuela fue desarrollado basándose en los métodos utilizados para estimar las brechas de rendimiento en el Global Yield Gap Atlas (GYGA). El GYGA utiliza métodos que son transparentes, reproducibles y basados en la mejor ciencia disponible. Las brechas de rendimiento, son estimadas por la diferencia entre el potencial de rendimiento sin limitaciones debido al agua, y otras tensiones abióticas y bióticas (la referencia más relevante para sistemas bajo riego), y el potencial de rendimiento de secano como referencia para sistemas de secano y los rendimientos reales de los cultivos.

En la Figura 6.1.1 se observa un esquema con los pasos que deben ser seguidos de acuerdo con los patrones exigidos por GYGA.

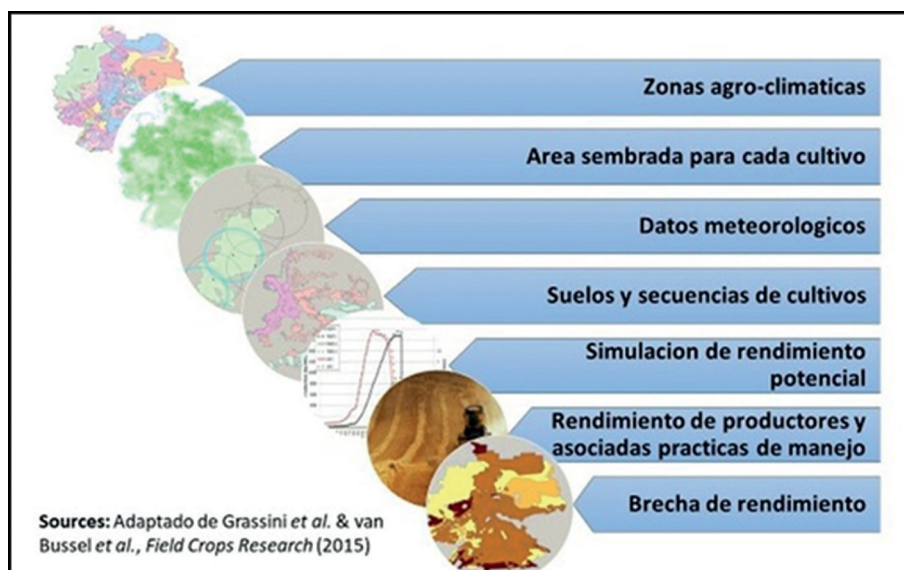


Figura 6.1.1. Esquema metodológico del protocolo desarrollado por Global Yield Gap Atlas (GYGA).



7. Zonas climáticas en área de cultivo de arroz en Venezuela

Siguiendo la metodología del Global Yield Gap Atlas (GYGA), se seleccionaron zonas de similitud climática representativas del área de producción de arroz en Venezuela. No se consideraron las zonas de similitud climática que cubren menos del 5% del área cosechada con el cultivo. Estas zonas indican regiones similares en cuanto a: 1) Grados-día; 2) Índice de aridez (precipitación media anual/evapotranspiración potencial media anual) y 3) Estacionalidad de la temperatura, considerando, así, factores relacionados con la duración del ciclo del cultivo (acumulación de unidades térmicas), limitación por agua y amplitud térmica. Esta clasificación existe para todo el mundo donde se cultiva al menos uno de los principales cultivos alimenticios (maíz, arroz, trigo, cebada, soya, yuca, papa, ñame, batata, plátano, maní, frijol común y otras leguminosas, remolacha azucarera, caña de azúcar), permitiendo que se comparen áreas alrededor del mundo que tengan similitud climática.

Como ejemplo, utilizaremos la zona de similitud climática 7801 (7-8-01). El 7 representa la franja de grados-día, el 8 representa la franja de índice de aridez y el 01, la franja de estacionalidad de la temperatura. Podemos percibir que existen cuatro franjas de grados-día en los estados de Portuguesa, Cojedes y Guárico (7-10), siete franjas de índice de aridez (regiones con índice de aridez 8, en promedio, tienen mayor disponibilidad de agua que regiones con índice de aridez 2) y todas las regiones estudiadas en los tres estados presentan similitud en cuanto a la estacionalidad de la temperatura. Los valores que representa cada franja pueden consultarse en el sitio web: www.yieldgap.org/web/guest/climate-zones.

En la Figura 7.1 es posible observar las zonas climáticas que están presentes en los estados de Portuguesa, Cojedes y Guárico en Venezuela. Los tres estados juntos son responsables de más del 90% de la producción de arroz de riego del país. De este modo, las búsquedas de datos de estaciones meteorológicas, datos de suelos, así como el desarrollo de experimentos de campo para la validación de los modelos de desarrollo de los cultivos de arroz y soya, se concentraron en estas regiones del país.

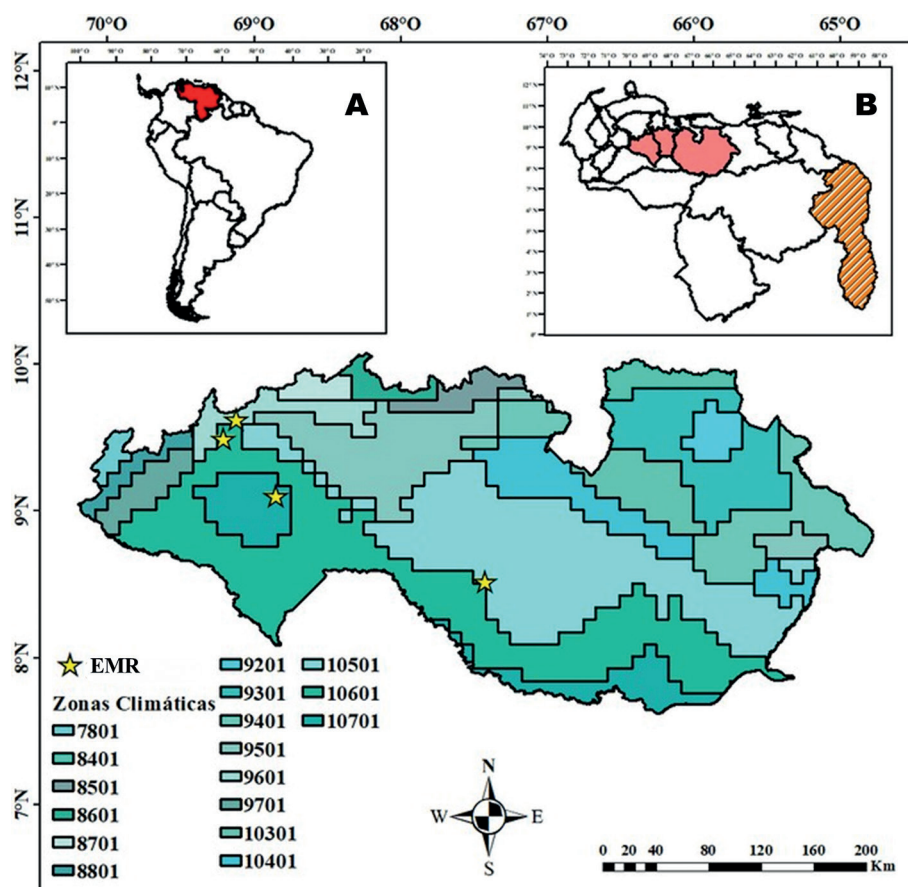


Figura 7.1. Zonas de similitud climática con área de cosecha de arroz de riego en Venezuela. El mapa A muestra la ubicación del país en América del Sur. El mapa B muestra la ubicación de los estados que forman parte del estudio. Las estrellas amarillas muestran las estaciones elegidas para la simulación de los potenciales de arroz y soya del sistema de producción arroz/soya en el país (EMR).

Siguiendo la metodología del Global Yield Gap Atlas (GYGA), el próximo paso fue seleccionar las zonas climáticas que cubren más del 5% del área cosechada de arroz del país. En la Figura 7.2 es posible observar las zonas de similitud climática que fueron seleccionadas para el desarrollo de este trabajo.

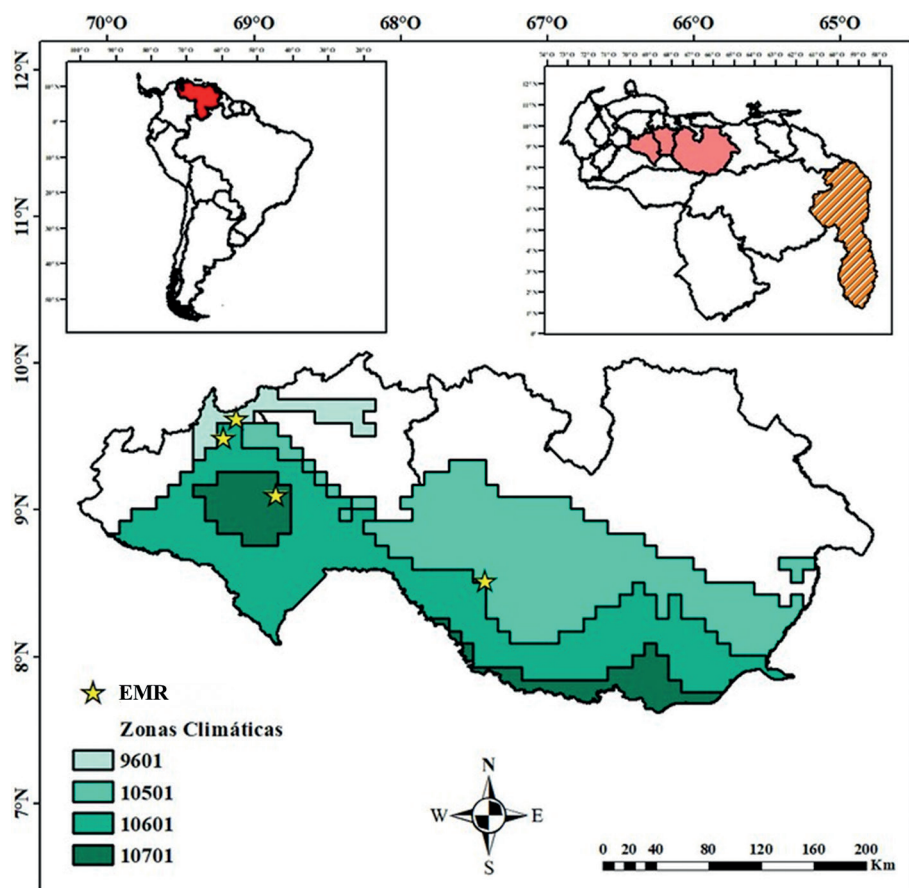


Figura 7.2. Zonas de similitud climática con área de cosecha de arroz superior al 5%, que sumadas cubren el 70% del área de producción de arroz en Venezuela.

Después de definir las zonas de similitud climática presentes en los estados y que cubren más del 5% del área de cosecha, se seleccionaron estaciones meteorológicas de referencia (EMR). Se considera que los datos meteorológicos de estas estaciones representan las condiciones meteorológicas de lugares que estén dentro de un radio de 100 kilómetros de distancia, siempre que estén dentro de la misma zona de similitud climática.

Así, seleccionamos cuatro estaciones meteorológicas de referencia de acuerdo con la disponibilidad de datos para Venezuela. El radio de 100 kilómetros alrededor de la EMR y dentro de una misma zona de similitud climática se llama *Buffer Zone*, y debe

representar más del 5% del área de cosecha de arroz en el país. Juntas, las cuatro zonas *buffers* seleccionadas cubren el 54% del área cosechada con arroz en Venezuela (Figura 7.3).

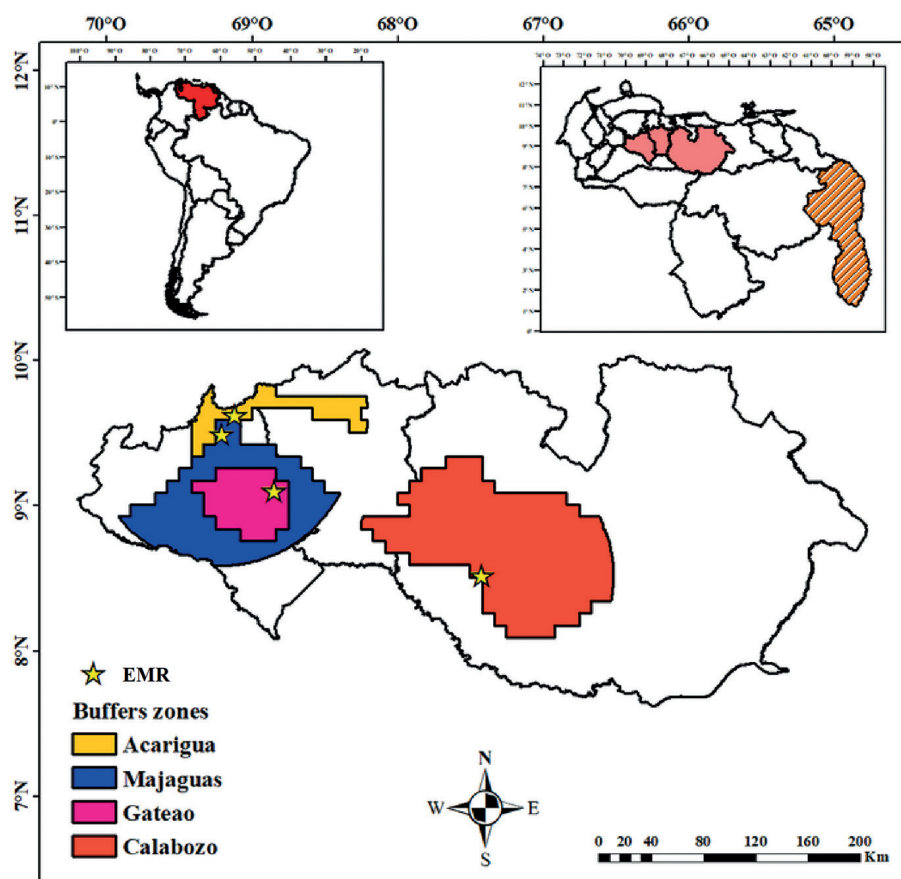


Figura 7.3. *Buffers Zones* generado a partir de las EMR y zonas de similitud climáticas que sumadas cubren el 54% del área de producción de arroz en Venezuela.

Las investigaciones realizadas directamente en los campos de cultivo son la forma más robusta de estimar el rendimiento promedio actual de los cultivos y los factores que explican las brechas de rendimiento (Edreira et al., 2017). Por eso, las prácticas de manejo realizadas desde antes de la siembra hasta la cosecha, las características edáficas y el rendimiento de los campos de arroz

en Venezuela fueron monitoreados a través de encuestas de las safras de 2018 hasta el 2024.

Durante estas siete cosechas, los extensionistas de FUNDARROZ acompañaron 361 campos de producción de granos de arroz, distribuidos en diferentes regiones del país (Figura 7.4). Además, se llevaron a cabo experimentos en condiciones potenciales (sin estrés bióticos), en la estación experimental de ASO-PORTUGUESA, en Araure (PO), con diferentes cultivares de arroz y soja más sembrado en Venezuela.

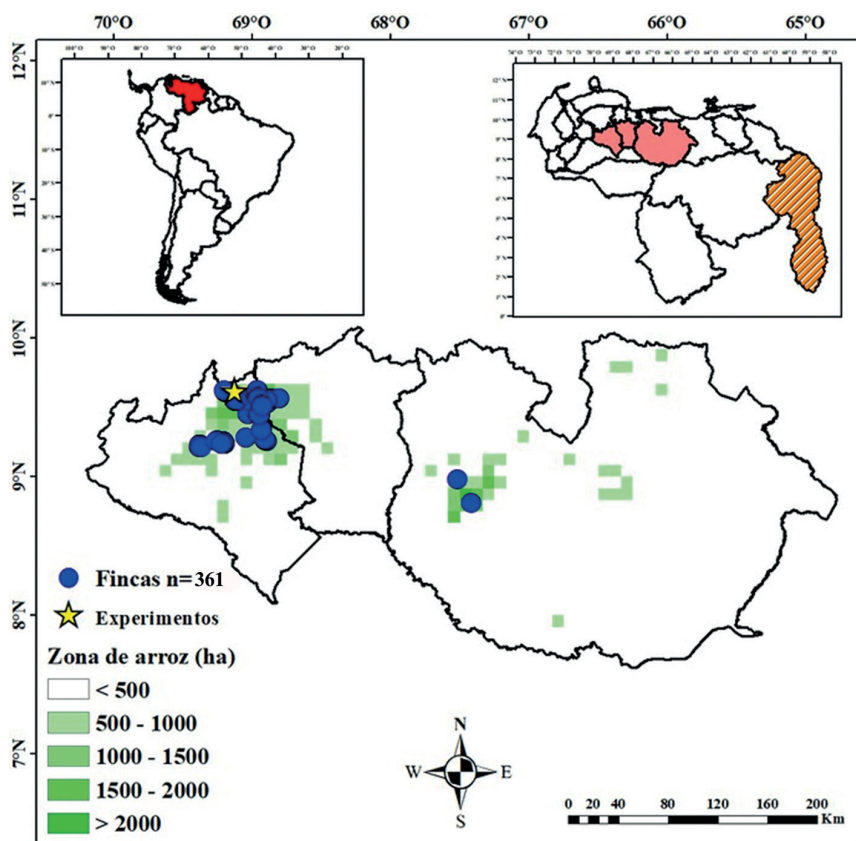


Figura 7.4. Ubicación de la recolección de datos en campos de productores de arroz en Venezuela círculos azules. Ubicación de los experimentos con arroz y soja estrella amarilla. Los píxeles verdes muestran las zonas de cosecha de arroz en Venezuela.



8. Caracterización de suelo en zonas productoras de arroz en Venezuela

Fueron realizadas calicatas en las regiones más productoras de arroz en Venezuela (Figura 8.1), con muestras diagnósticas de 0 hasta 100 centímetros con el objetivo de coleccionar datos para el modelo CropGro. En el estado de Portuguesa, se realizaron calicatas en los municipios de San Rafael de Onoto, Ospino, Turén, Agua Blanca, Páez, Araure y Esteller. En el estado de Cojedes, fue realizada dos calicatas en el municipio de Anzoátegui (Localidad El Carmelero). En el Estado de Guárico, fueron realizadas calicatas en el municipio Francisco de Miranda (Localidad Calabozo).

Estos suelos son caracterizados por presentar, en promedio, una textura compuesta por 22% de arena, 44% de limo, 32% de arcilla y, aproximadamente, 1.8% de materia orgánica. El pH promedio encontrado fue de 6.3 en la muestra diagnóstica observada.

En relación con los nutrientes del suelo, se encontraron medias de 32.9 mg/L fósforo total, 1278.9 mg/kg de calcio, 352.9 mg/kg de magnesio y 60.7 mg/kg de potasio.

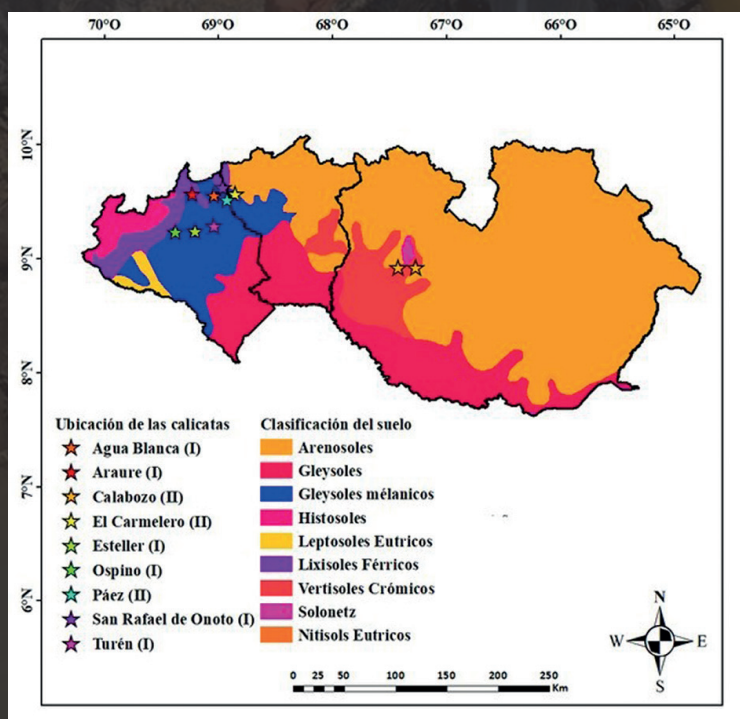


Figura 8.1. Localización de las calicatas.

AGUA BLANCA

La calicata fue realizada en el municipio Agua Blanca, situado en la región nordeste del Estado de Portuguesa, Venezuela, en la finca “La Culebra”, propiedad del productor Carlos Machín. El suelo del localidad (Figura 8.2) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 25.6% de arena, 52.8% de limo y 21.6% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró 2.78% de materia orgánica y un pH en agua de 7.3. En cuanto a la fertilidad del suelo, éste presentó valores medios de 52.4 mg/L de fósforo total, 2.367 mg/kg de calcio, 212.8 mg/kg de magnesio y 90.2 mg/kg de potasio. Las figuras 8.3 a 8.6 presentan el comportamiento de esos nutrientes a lo largo del perfil muestreado.



Figura 8.2. Perfil de suelo encontrado en la propiedad del productor Carlos Machín, Municipio de Agua Blanca, Estado de Portuguesa, Venezuela.

AGUA BLANCA

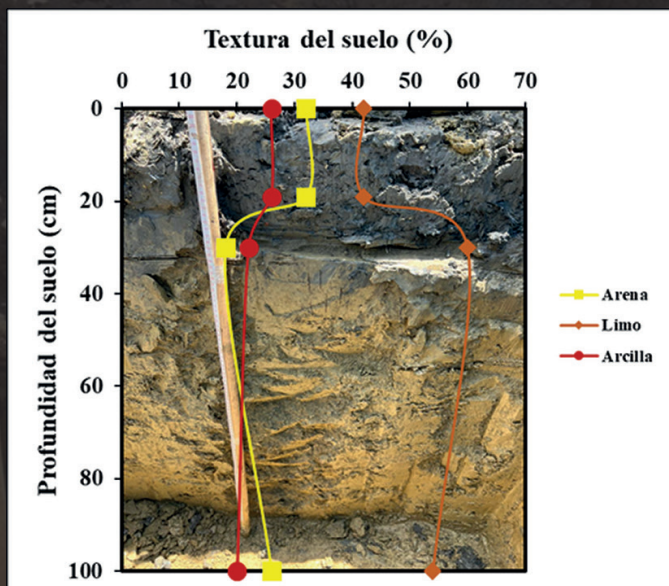


Figura 8.3. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

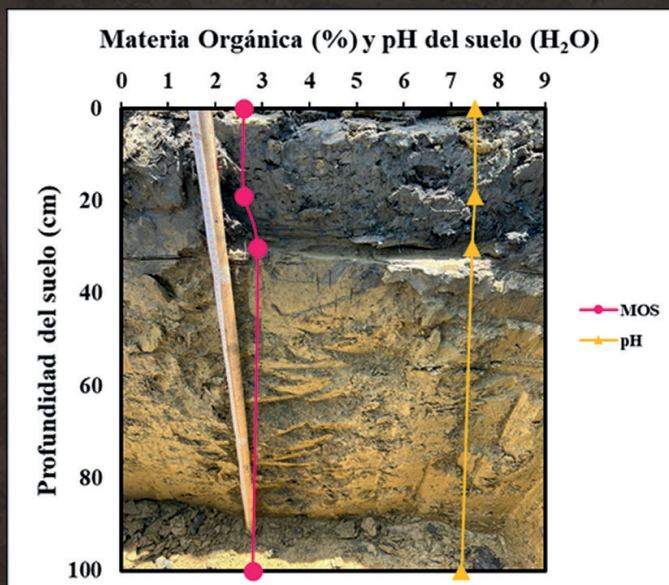


Figura 8.4. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

AGUA BLANCA

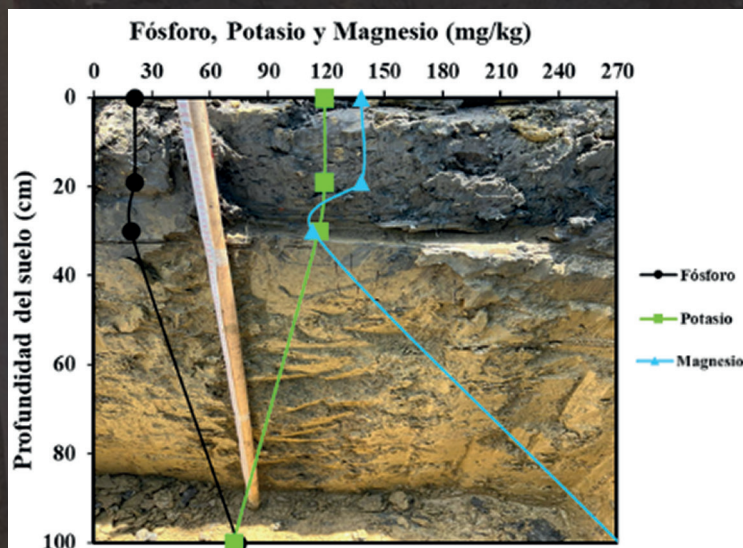


Figura 8.5. Comportamiento de los nutrientes Fósforo, Potasio y Magnesio a lo largo del perfil.

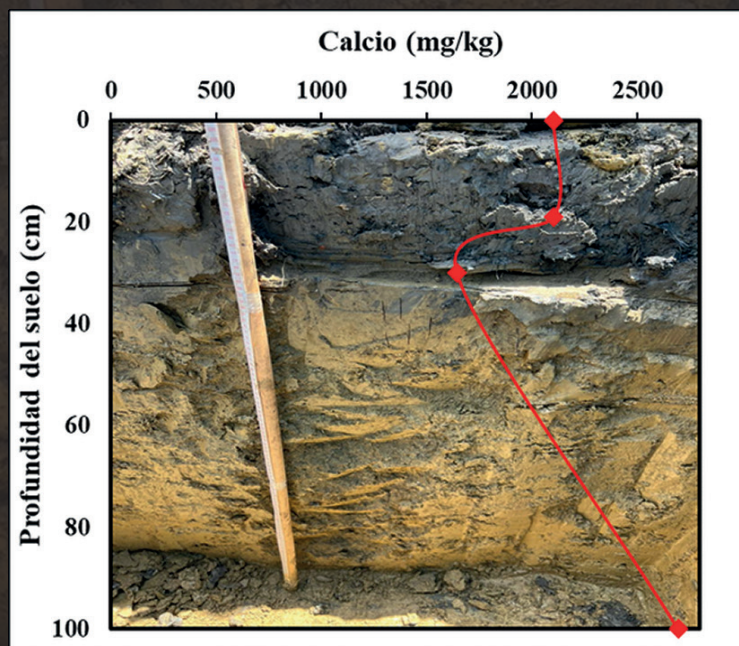


Figura 8.6. Comportamiento del nutriente calcio a lo largo del perfil.

ARAURE

La calicata fue realizada en el municipio Araure, situado en la región nordeste del estado de Portuguesa, Venezuela, en la finca “Canaima”, en la propiedad del productor Edecio Márquez. El suelo de la localidad (Figura 8.7) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 22% de arena, 58.8% de limo y 19.2% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró un 4.2% de materia orgánica y un pH en agua de 7.16. En cuanto a la fertilidad del suelo, este presentó valores medios de 7,6 mg/L de fósforo total, 1677.6 mg/kg de calcio, 39.4 mg/kg de magnesio y 72.4 mg/kg de potasio. Las figuras 8.8 a 8.11 presentan el comportamiento de esos nutrientes en el perfil muestreado.



Figura 8.7. Perfil de suelo encontrado en la finca propiedad de Edecio Márquez., Municipio de Araure, Estado de Portuguesa, Venezuela.

ARAURE

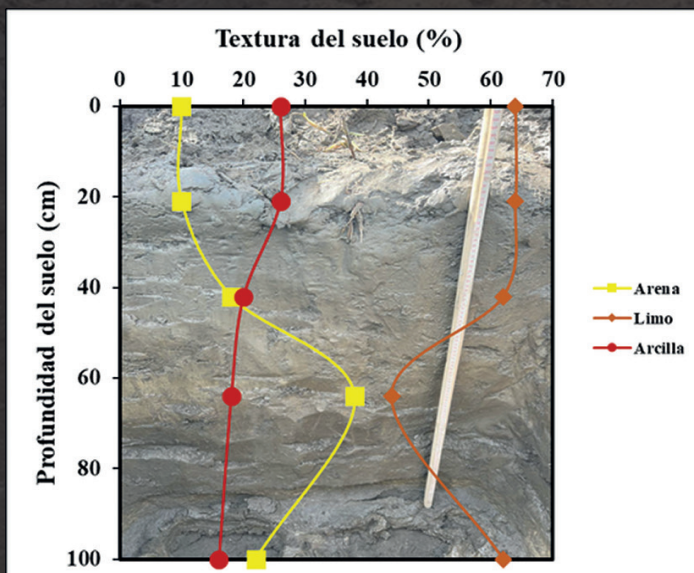


Figura 8.8. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

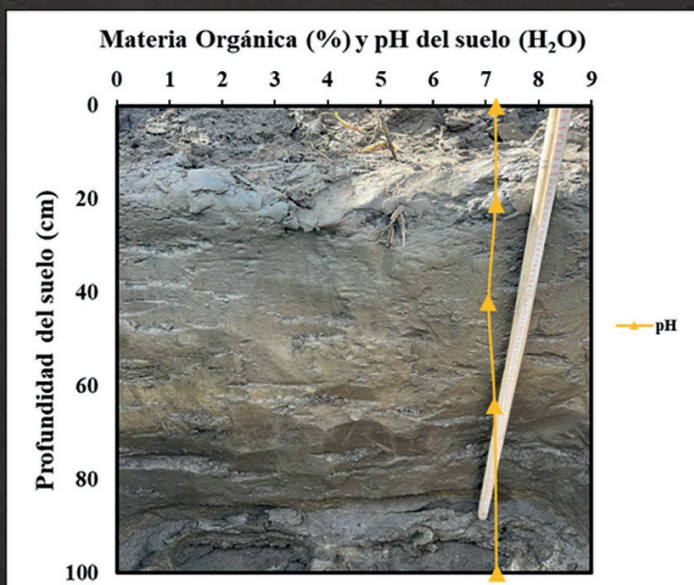


Figura 8.9. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

ARAURE

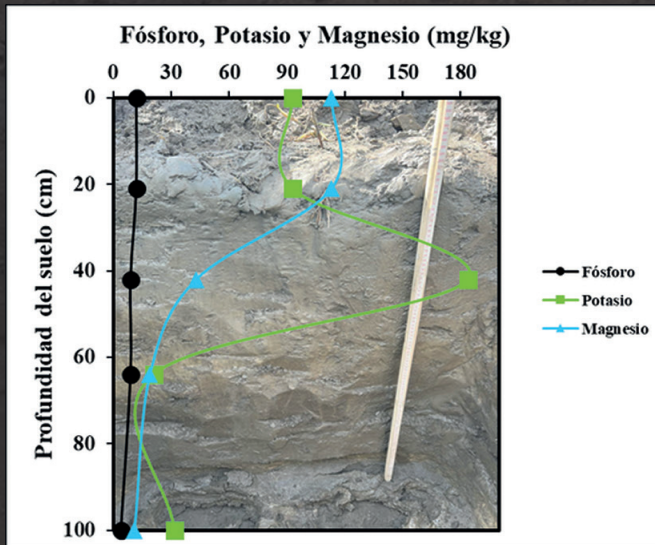


Figura 8.10. Comportamiento de los nutrientes Fósforo, Potasio y Magnesio a lo largo del perfil.

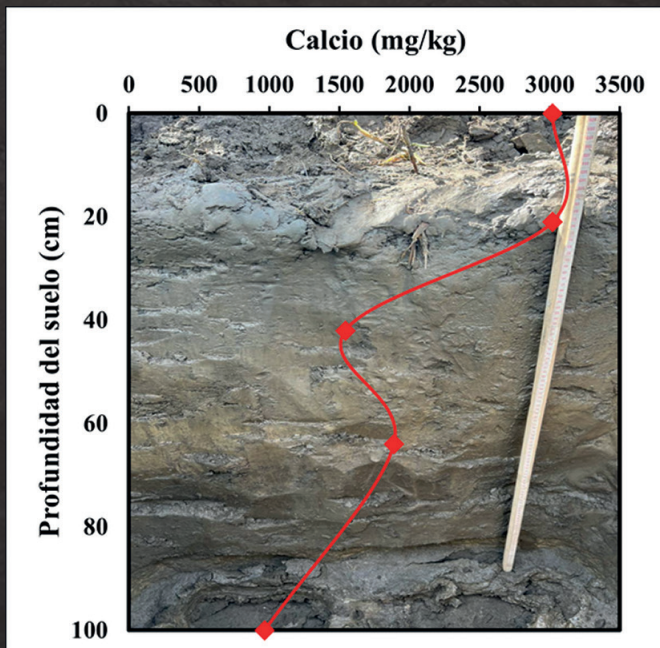


Figura 8.11. Comportamiento del nutriente Calcio a lo largo del perfil.

CALABOZO

La calicata fue realizada en el municipio Francisco de Miranda, localidad Calabozo, situado en la región noroeste del estado de Guárico, Venezuela, en la propiedad del productor Franco Rotundo. El suelo de la localidad (Figura 8.12) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 10.8% de arena, 41.2% de limo e 48% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró 1.09% de materia orgánica y un pH en agua de 7.54. En cuanto a la fertilidad del suelo, este presentó valores medios de 24.5 mg/L de fósforo total, 1539 mg/kg de calcio, 1056.8 mg/kg de magnesio y 86.5 mg/kg de potasio. Las figuras 8.13 a 8.16 presentan el comportamiento de esos nutrientes al lo largo perfil muestreado.



Figura 8.12. Perfil de suelo encontrado en la propiedad del productor Franco Rotundo, Municipio de Francisco de Miranda, Estado de Guárico, Venezuela.

CALABOZO

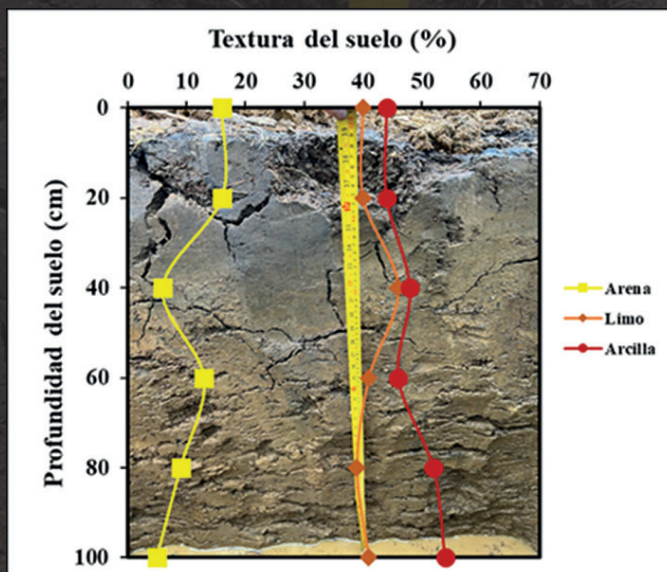


Figura 8.13. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

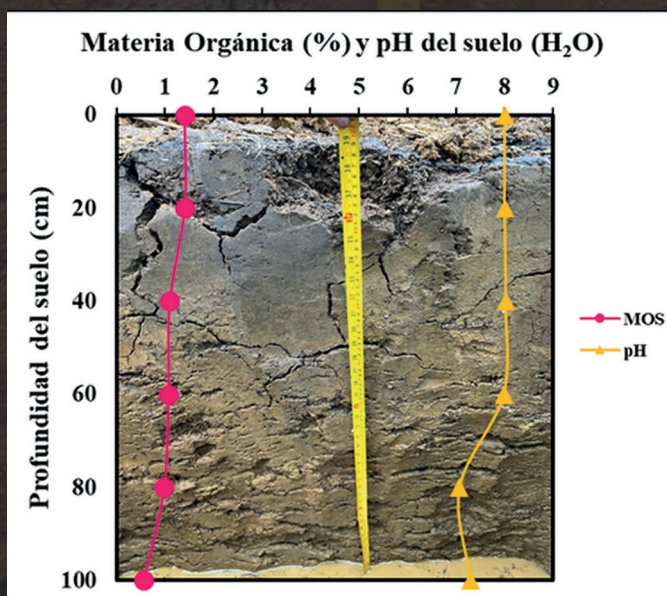


Figura 8.14. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

CALABOZO

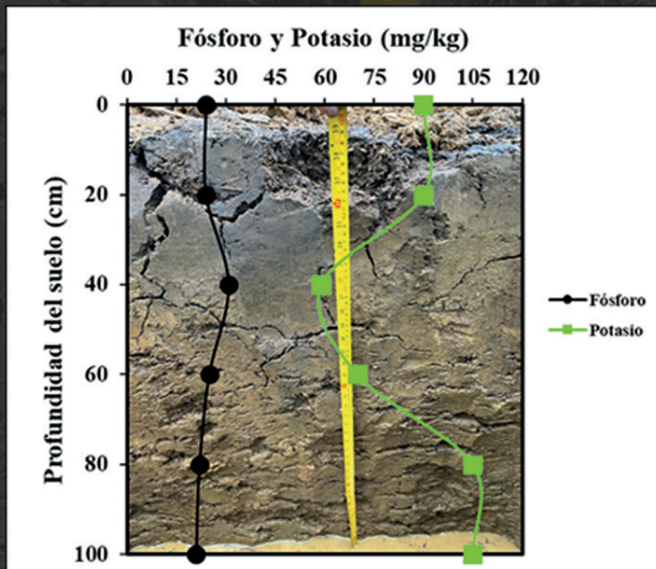


Figura 8.15. Comportamiento de los nutrientes Fósforo y Potasio a lo largo del perfil.

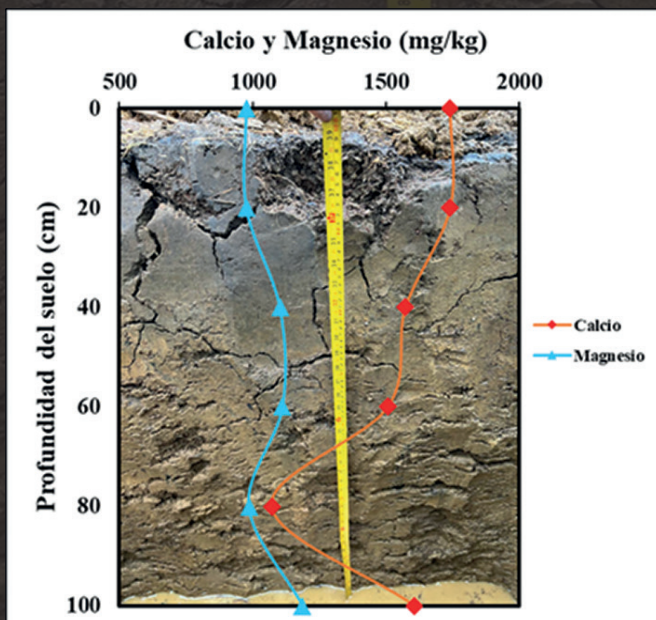


Figura 8.16. Comportamiento de los nutrientes Calcio y Magnesio a lo largo del perfil.

CALABOZO

La calicata fue realizada en el municipio de Francisco de Miranda, localidad Calabozo, situado en la región noroeste del estado de Guárico, Venezuela, en la propiedad del productor Antonio Rotundo. El suelo de la localidad (Figura 8.17) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 13.2% de arena, 30.8% de limo y 56% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró 0.7% de materia orgánica y un pH en agua de 6.6. Cuanto a la fertilidad de suelo, este presentó valores medios de 17.5 mg/L de fósforo total, 1110.8 mg/kg de calcio, 1177.5 mg/kg de magnesio y 117.5 mg/kg de potasio. Las figuras 8.18 a 8.21 presentan el comportamiento de esos nutrientes a lo largo del perfil muestreado.



Figura 8.17. Perfil de suelo encontrado en la propiedad del productor Antonio Rotundo, Municipio de Francisco de Miranda, Estado de Guárico, Venezuela.

CALABOZO

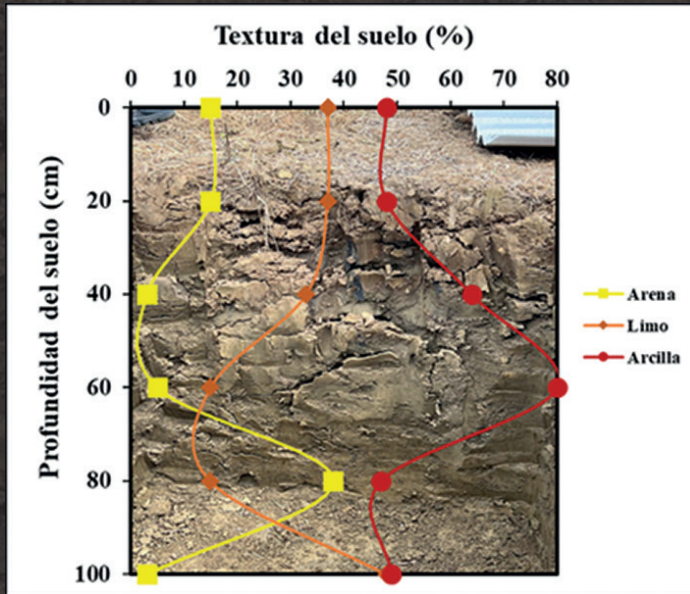


Figura 8.18. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

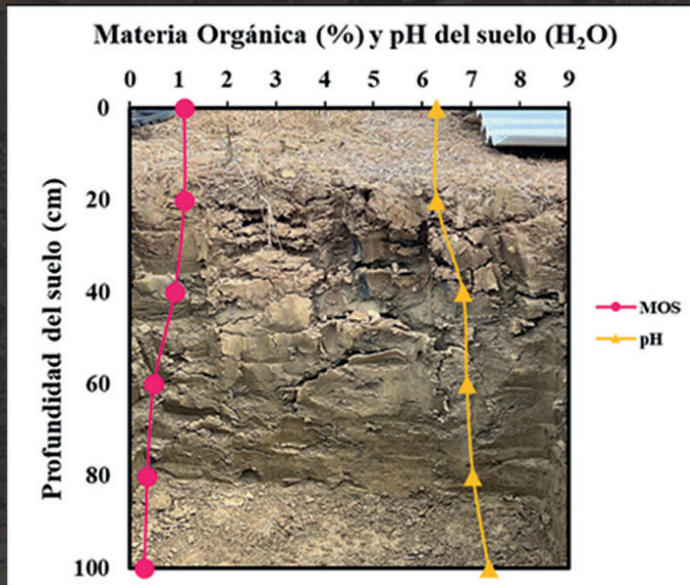


Figura 8.19. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

CALABOZO

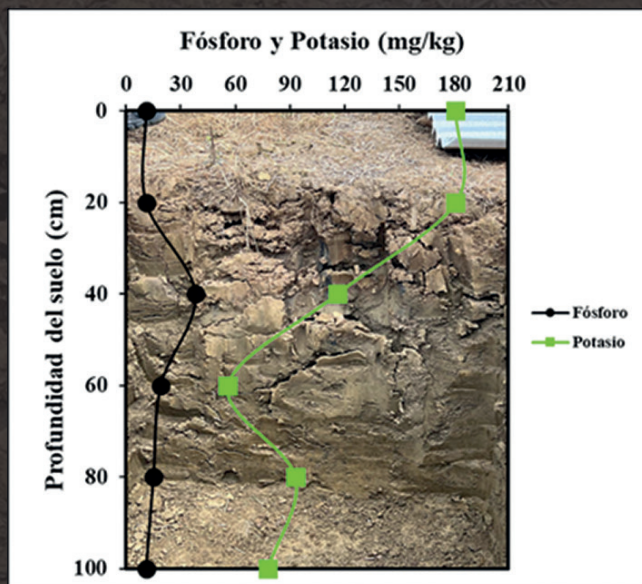


Figura 8.20. Comportamiento de los nutrientes Fósforo y Potasio a lo largo del perfil.

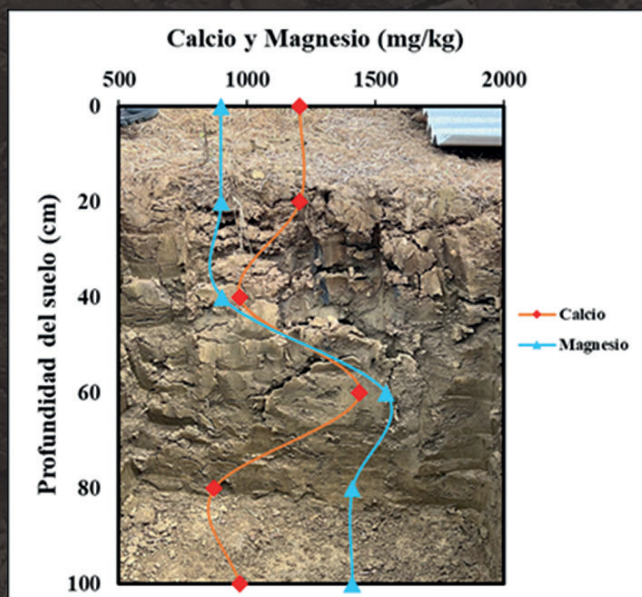


Figura 8.21. Comportamiento de los nutrientes Calcio y Magnesio a lo largo del perfil.

EL CARMELERO

La calicata fue realizada en el municipio Anzoátegui, localidad El Carmelero, situado en la región noroeste del estado de Cojedes, Venezuela, en la finca “Benaguasil” propiedad del productor Manuel Balaguer. El suelo de la localidad (Figura 8.22) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 42.8% de arena, 33.2% de limo y 24.4% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró 3.02% de materia orgánica y un pH en agua de 7.2. En cuanto a la fertilidad del suelo, este presentó valores medios de 32.2 mg/L de fósforo total, 826.8 mg/kg de calcio, 21.8 mg/kg de magnesio y 36.4 mg/kg de potasio. Las figuras 8.23 a 8.26 presentan el comportamiento de esos nutrientes a lo largo del perfil muestreado.



Figura 8.22. Perfil de suelo encontrado en la propiedad del productor Manuel Balaguer, Municipio Anzoátegui, Estado de Cojedes, Venezuela.

EL CARMELERO

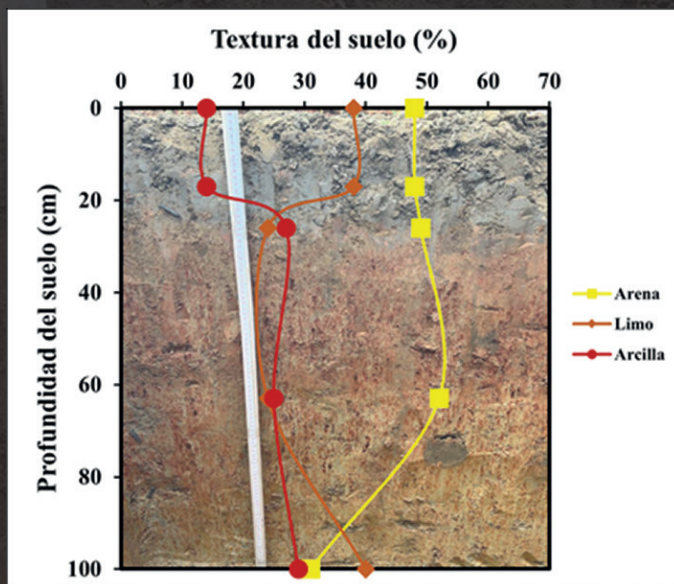


Figura 8.23. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

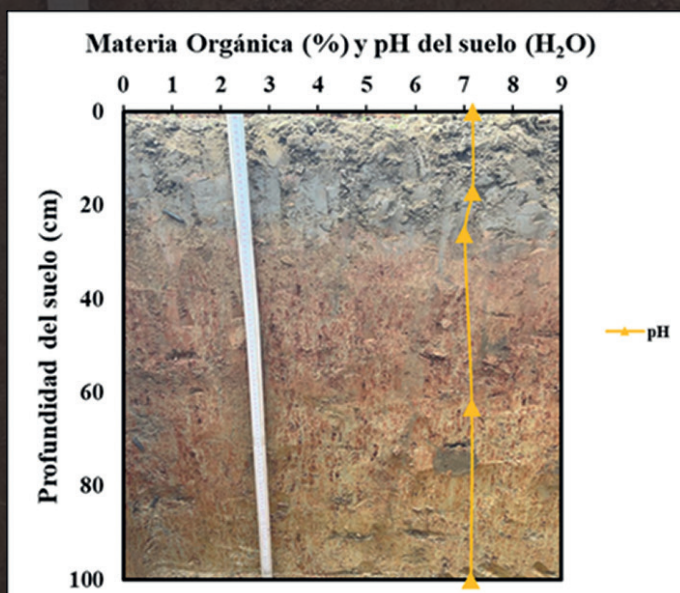


Figura 8.24. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

EL CARMELERO

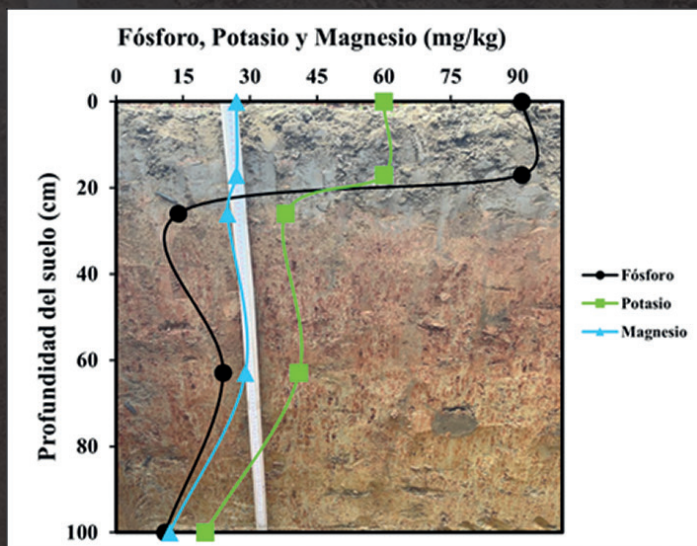


Figura 8.25. Comportamiento de los nutrientes Fósforo, Potasio y Magnesio a lo largo del perfil.

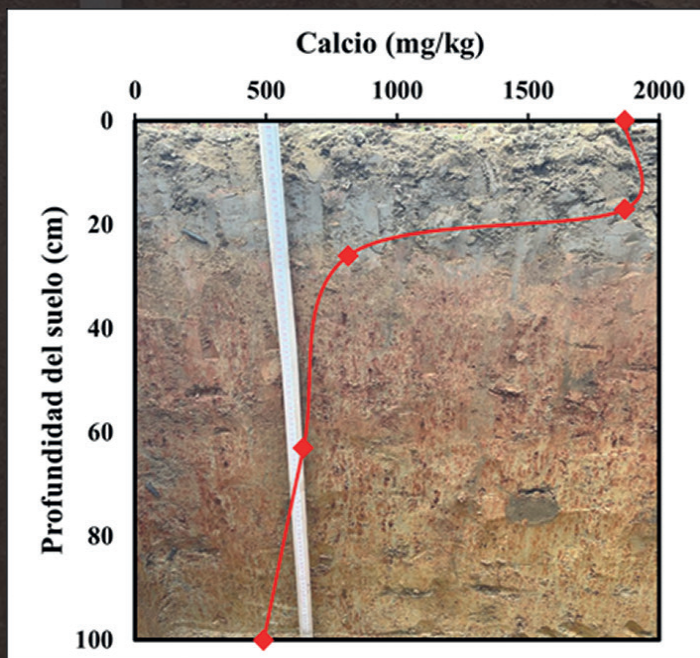


Figura 8.26. Comportamiento del nutriente Calcio a lo largo del perfil.

ESTELLER

La calicata fue realizada en el municipio Esteller, localidad Las Trincheras, situado en la región norte/centro del Estado de Portuguesa, Venezuela, en la finca “La Risaia” propiedad del productor Aurelio Cazzulani. El suelo del local (Figura 8.27) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 32.6% de arena, 44.8% de limo y 22.6% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró 2.16% de materia orgánica y un pH en agua de 7.0. Cuanto a la fertilidad de suelo, este presentó valores medios de 58.8 mg/L de fósforo total, 1305.6 mg/kg de calcio, 30.2 mg/kg de magnesio e 45.6 mg/kg de potasio. Las figuras 8.28 a 8.31 presentan el comportamiento de esos nutrientes a lo largo del perfil muestreado.



Figura 8.27. Perfil de suelo encontrado en la propiedad del productor Aurelio Cazzulani, Municipio Esteller, Estado de Portuguesa, Venezuela.

ESTELLER

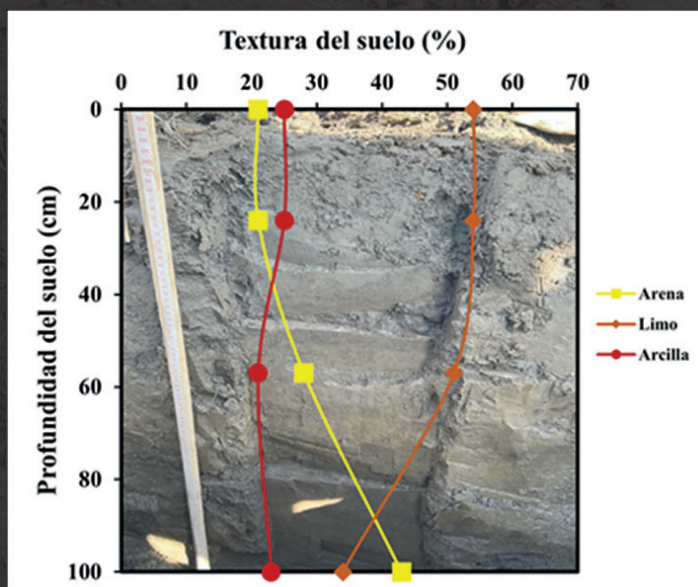


Figura 8.28. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

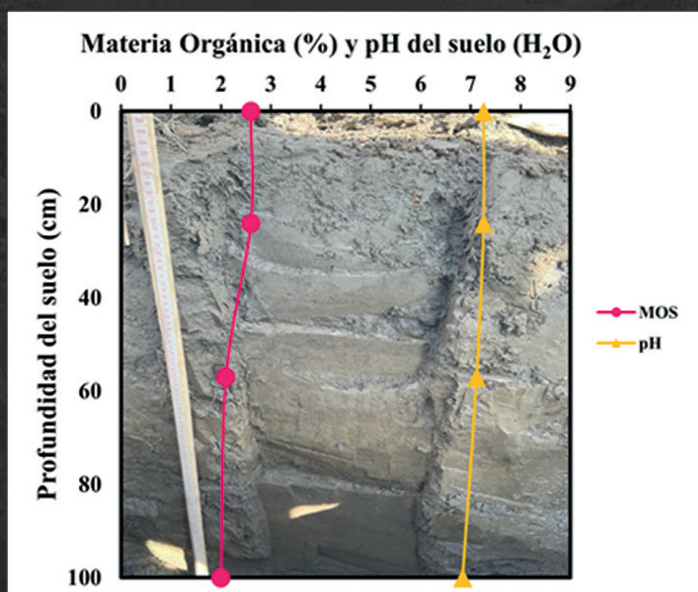


Figura 8.29. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

ESTELLER

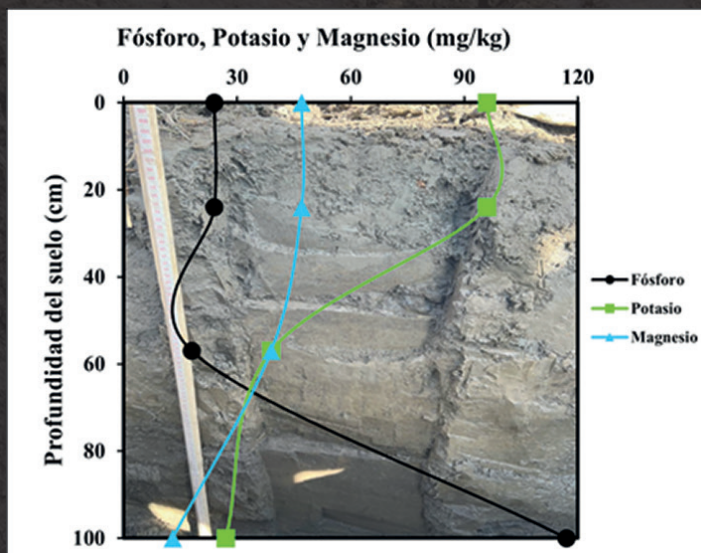


Figura 8.30. Comportamiento de los nutrientes Fósforo, Potasio y Magnesio a lo largo del perfil.

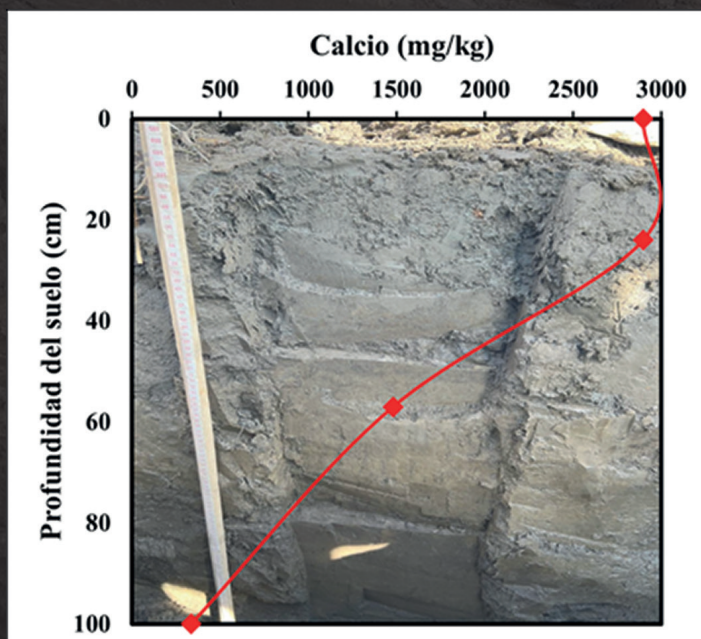


Figura 8.31. Comportamiento del nutriente Calcio a lo largo del perfil.

OSPINO

La calicata fue realizada en el municipio Ospino, situado en la región norte/centro del Estado de Portuguesa, Venezuela, en la propiedad del productor Nicolino Merlotti. El suelo de la localidad (Figura 8.32) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 8.2% de arena, 61% de limo y 30.8% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró 1.2% de materia orgánica y un pH en agua de 6.93. En cuanto a la fertilidad del suelo, este presentó valores medios de 89.6 mg/L de fósforo total, 963.8 mg/kg de calcio, 304.8 mg/kg de magnesio e 32.8 mg/kg de potasio. Las figuras 8.33 a 8.36 presentan el comportamiento de esos nutrientes a lo largo del perfil muestreado.



Figura 8.32. Perfil de suelo encontrado en la propiedad del productor Nicolino Merlotti, Municipio Ospino, Estado de Portuguesa, Venezuela.

OSPINO

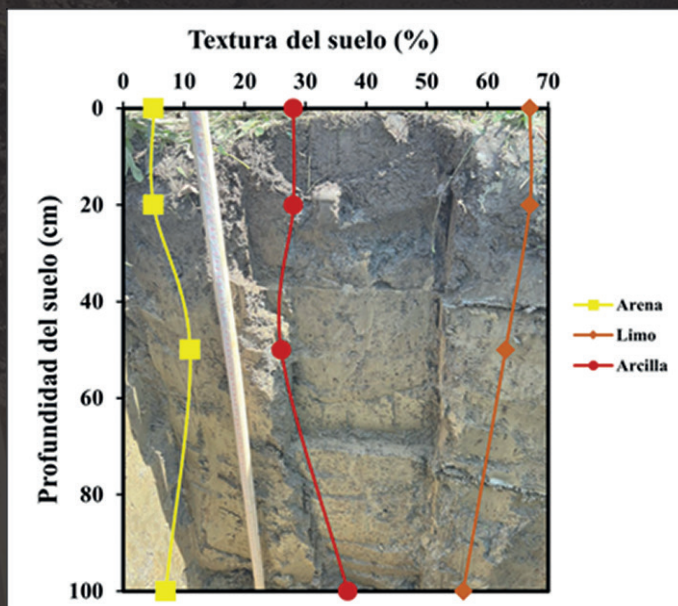


Figura 8.33. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

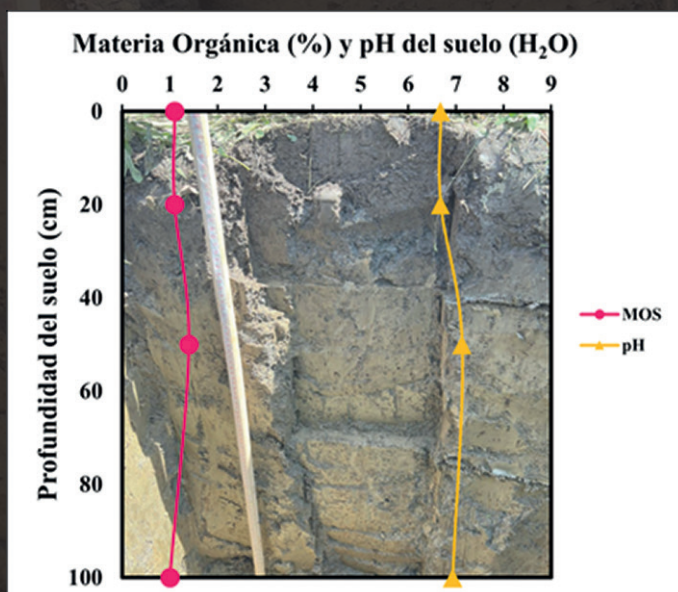


Figura 8.34. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

OSPINO

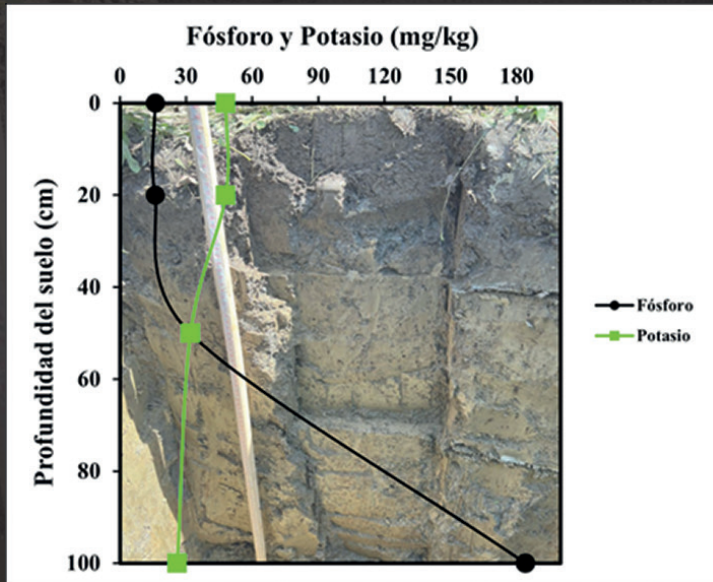


Figura 8.35. Comportamiento de los nutrientes Fósforo y Potasio a lo largo del perfil.

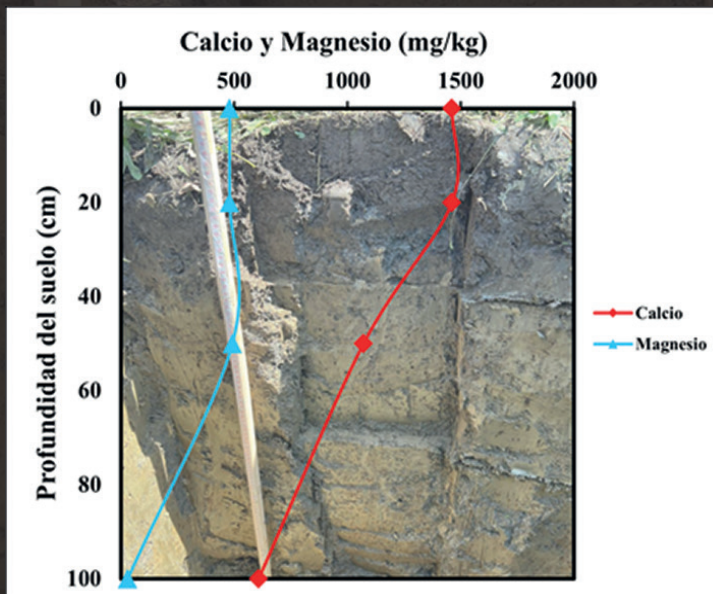


Figura 8.36. Comportamiento de los nutrientes Calcio y Magnesio a lo largo del perfil.

PÁEZ

La calicata fue realizada en el municipio Páez, situado en la región nordeste del Estado de Portuguesa entre la Carretera 4 y la vía que conduce a la población de Pimpinela (Sector Pimpinela), Venezuela, en la propiedad del productor Nicola Campo. El suelo de la localidad (Figura 8.37) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 19.2% de arena, 34.4% de limo y 34.4% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró 1.88% de materia orgánica y un pH en agua de 7.04. En cuanto a la fertilidad del suelo, este presentó valores medios de 21.6 mg/L de fósforo total, 812.2 mg/kg de calcio, 25 mg/kg de magnesio e 65 mg/kg de potasio. Las figuras 8.38 a 8.41 presentan el comportamiento de esos nutrientes a lo largo del perfil muestreado.



Figura 8.37. Perfil de suelo encontrado en la propiedad del productor Nicola Campo, Municipio Páez, Estado de Portuguesa, Venezuela.

PÁEZ

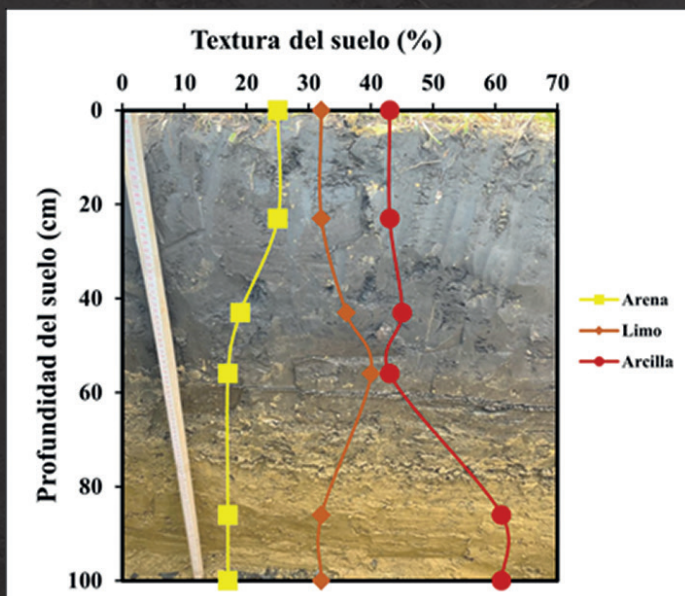


Figura 8.38. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

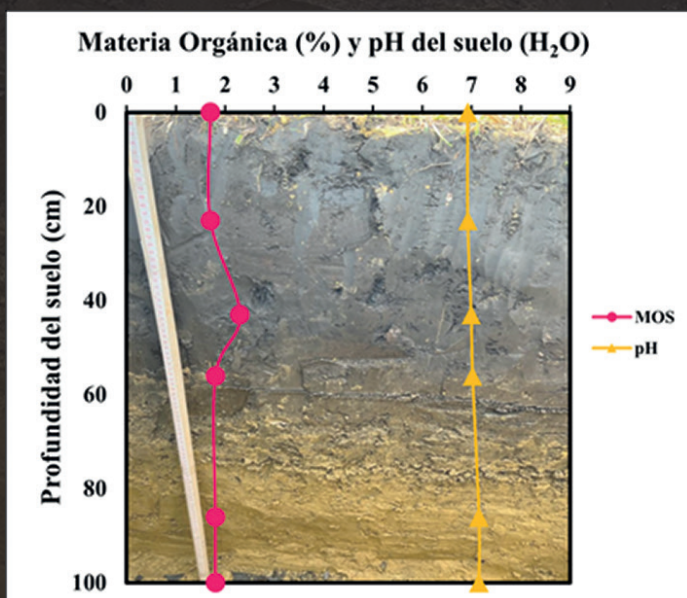


Figura 8.39. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

EL CARMELERO

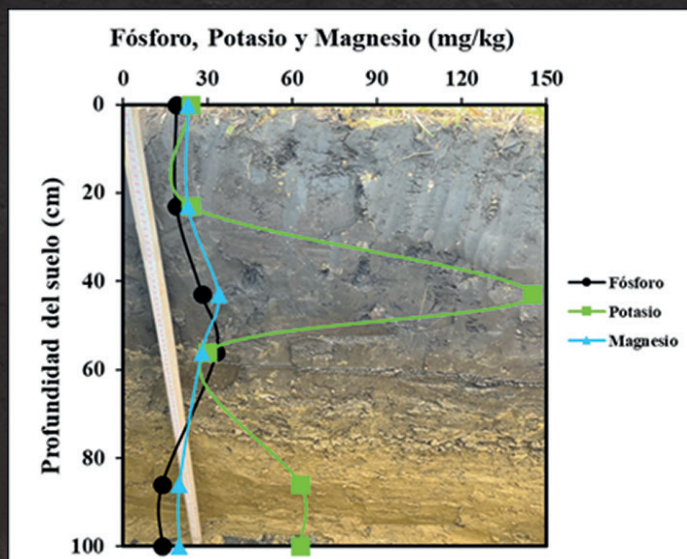


Figura 8.40. Comportamiento de los nutrientes Fósforo, Potasio y Magnesio a lo largo del perfil.

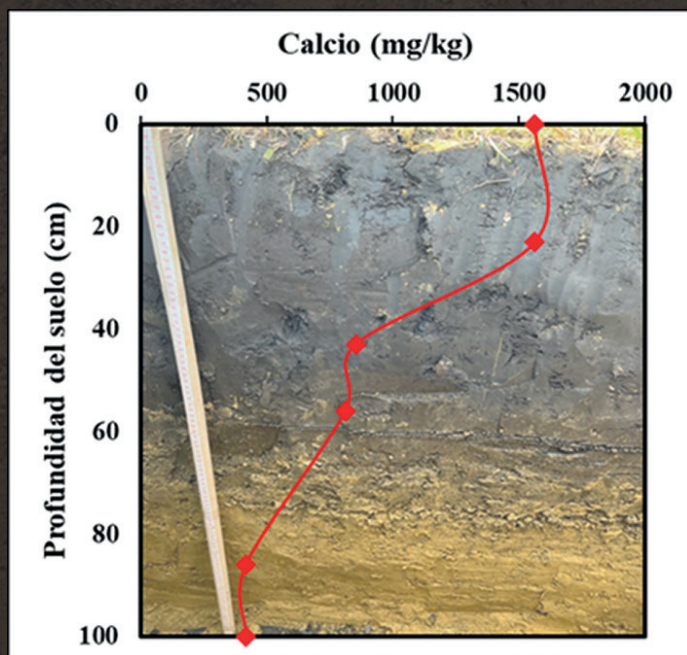


Figura 8.41. Comportamiento del nutriente Calcio a lo largo del perfil.

EL CARMELERO

La calicata fue realizada en el municipio Anzoátegui, localidad El Carmelero, situado en la región noroeste del estado de Cojedes, Venezuela, en la finca “El Carmelero” propiedad del productor Luis Simón Pérez. El suelo de la localidad (Figura 8.42) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 29% de arena, 43.8% de limo y 27.2% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró 0.9% de materia orgánica y un pH en agua de 6.6. En cuanto a la fertilidad del suelo, este presentó valores medios de 3.4 mg/L de fósforo total, 819.2 mg/kg de calcio, 28.4 mg/kg de magnesio e 33 mg/kg de potasio. Las figuras 8.43 a 8.46 presentan el comportamiento de esos nutrientes a lo largo del perfil muestreado.



Figura 8.42. Perfil de suelo encontrado en la propiedad del productor Luis Simón Pérez., Municipio Anzoátegui, Estado de Portuguesa, Venezuela.

EL CARMELERO

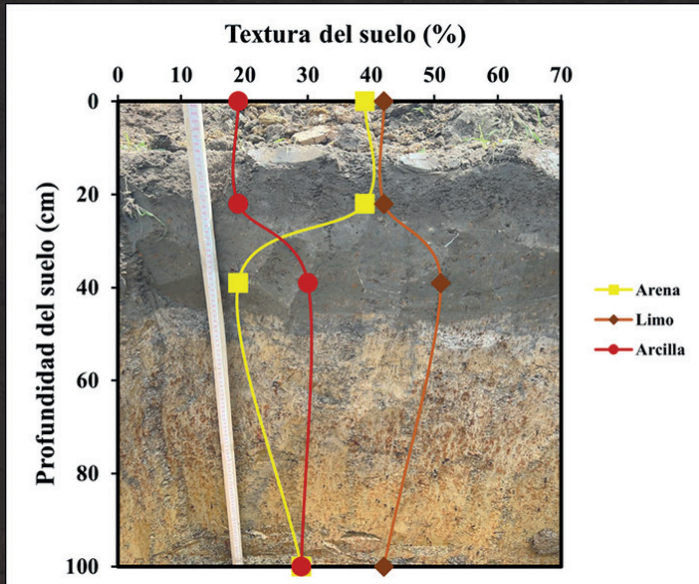


Figura 8.43. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

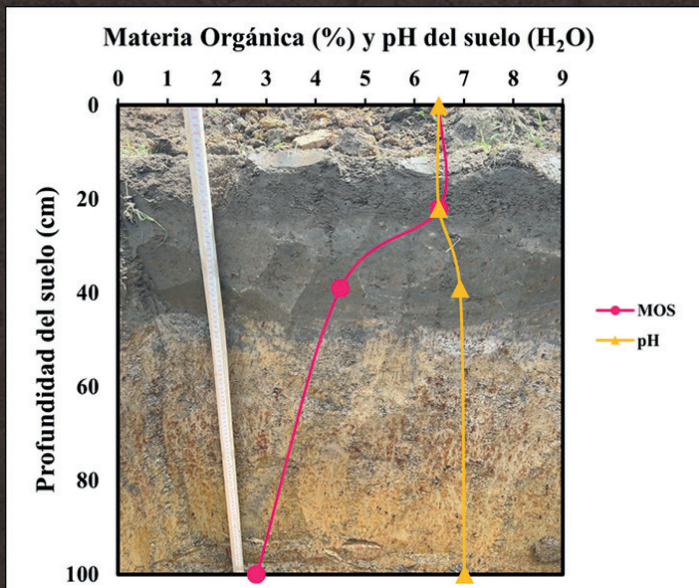


Figura 8.44. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

EL CARMELERO

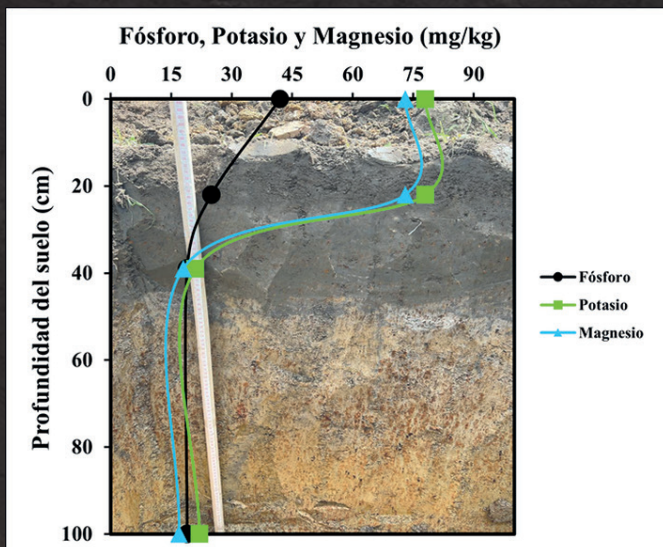


Figura 8.45. Comportamiento de los nutrientes Fósforo, Potasio y Magnesio a lo largo del perfil.

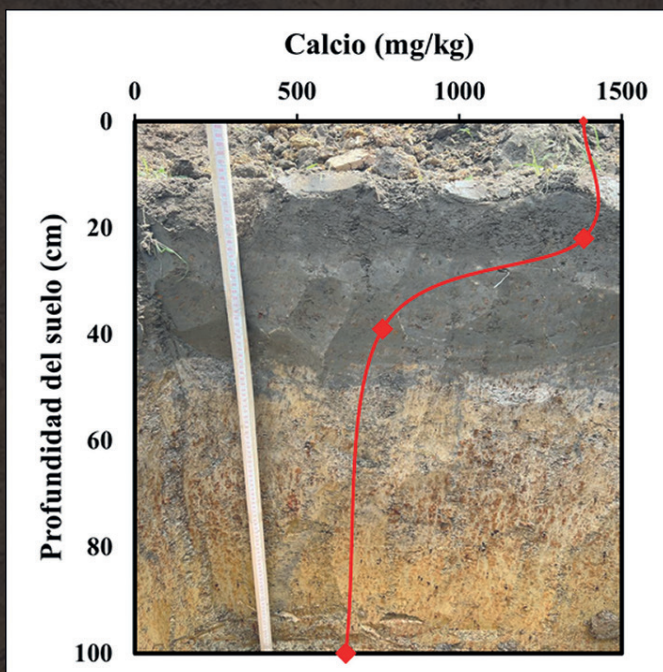


Figura 8.46. Comportamiento del nutriente Calcio a lo largo del perfil.

SAN RAFAEL DE ONOTO

La calicata fue realizada en el municipio San Rafael de Onoto en las cercanías de la población de Algarrobito, situado en la región nordeste del estado de Portuguesa, Venezuela, en la propiedad del productor Venturino Cicconetti. El suelo de la localidad (Figura 8.47) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 16.6% de arena, 52.6% de limo y 30.8% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró 1.1% de materia orgánica y un pH en agua de 7.0. En cuanto a la fertilidad del suelo, este presentó valores medios de 26 mg/L de fósforo total, 837.2 mg/kg de calcio, 43.2 mg/kg de magnesio y 33.6 mg/kg de potasio. Las figuras 8.48 a 8.51 presentan el comportamiento de esos nutrientes a lo largo del perfil muestreado.



Figura 8.47. Perfil de suelo encontrado en la propiedad del productor Venturino Cicconetti, Municipio San Rafael de Onoto, Estado de Portuguesa, Venezuela.

SAN RAFAEL DE ONOTO

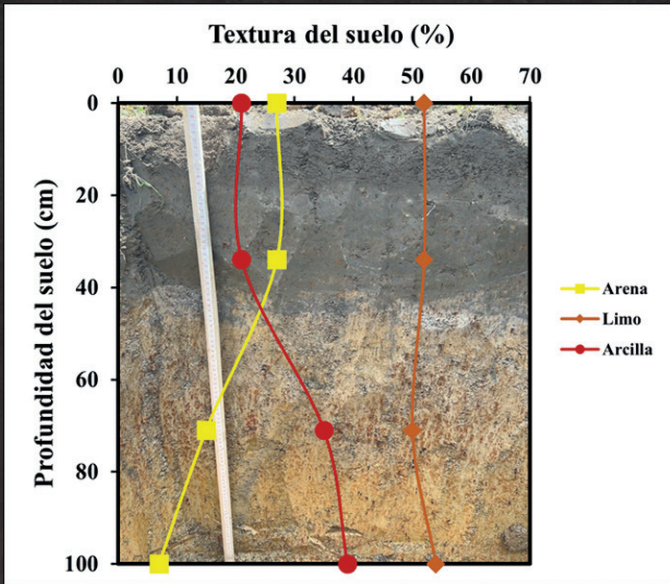


Figura 8.48. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

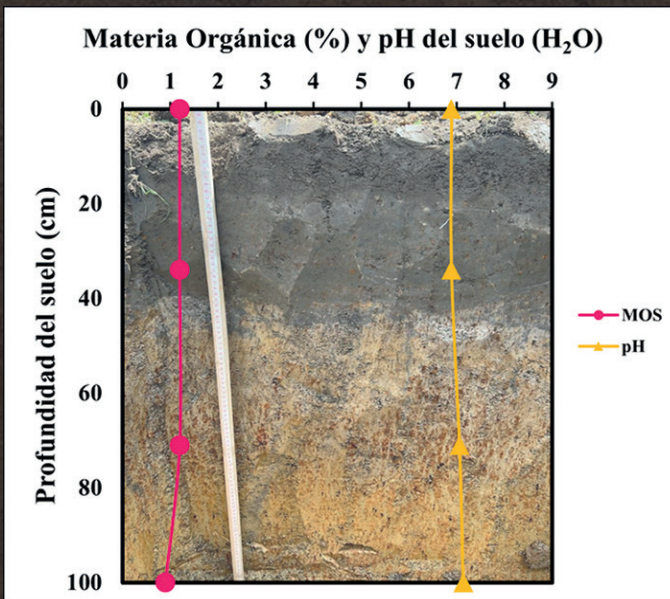


Figura 8.49. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

SAN RAFAEL DE ONOTO

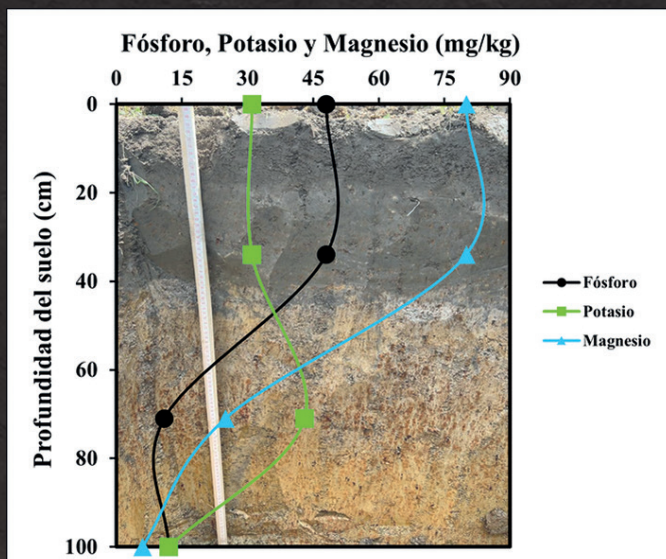


Figura 8.50. Comportamiento de los nutrientes Fósforo, Potasio y Magnesio a lo largo del perfil.

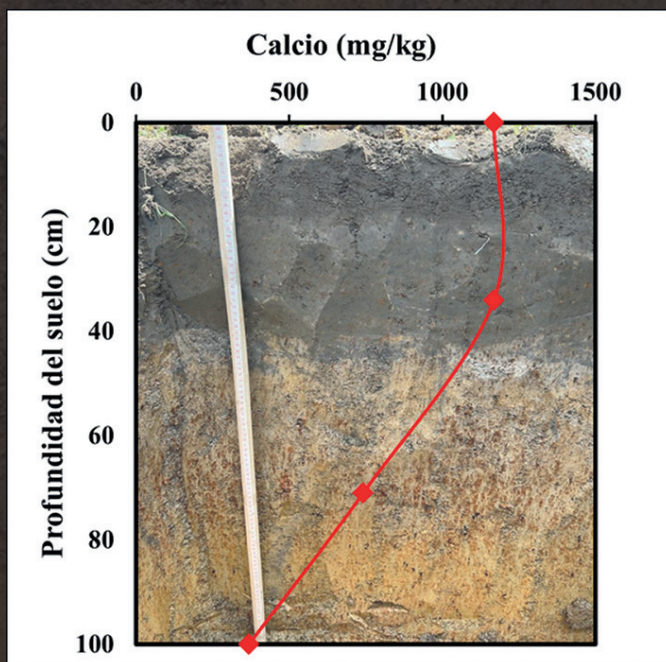


Figura 8.51. Comportamiento del nutriente Calcio a lo largo del perfil.

PÁEZ

La calicata fue realizada en el poblado de Payara ubicado en el Municipio Paéz, 3 estado Portuguesa, Venezuela, en la Parcela de Aproscello. El suelo de la localidad (Figura 8.52) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 37.6% de arena, 38.6% de limo y 24.8% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró 1.38% de materia orgánica y un pH en agua de 6.7. En cuanto a la fertilidad del suelo, este presentó valores medios de 27 mg/L de fósforo total, 1627.6 mg/kg de calcio, 112.8 mg/kg de magnesio y 60.6 mg/kg de potasio. Las figuras 8.53 a 8.56 presentan el comportamiento de esos nutrientes a lo largo del perfil muestreado.



Figura 8.52. Perfil de suelo encontrado en la propiedad de la Parcela de Aproscello, Municipio Turén, Estado de Portuguesa, Venezuela.

PÁEZ

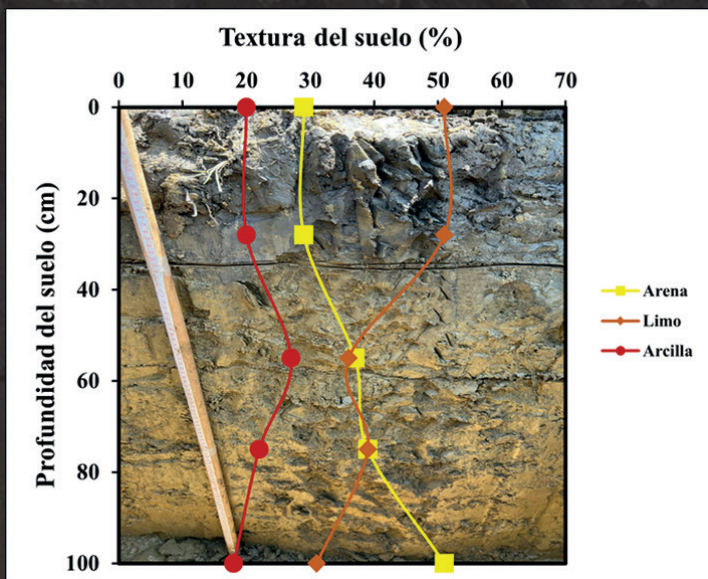


Figura 8.53. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

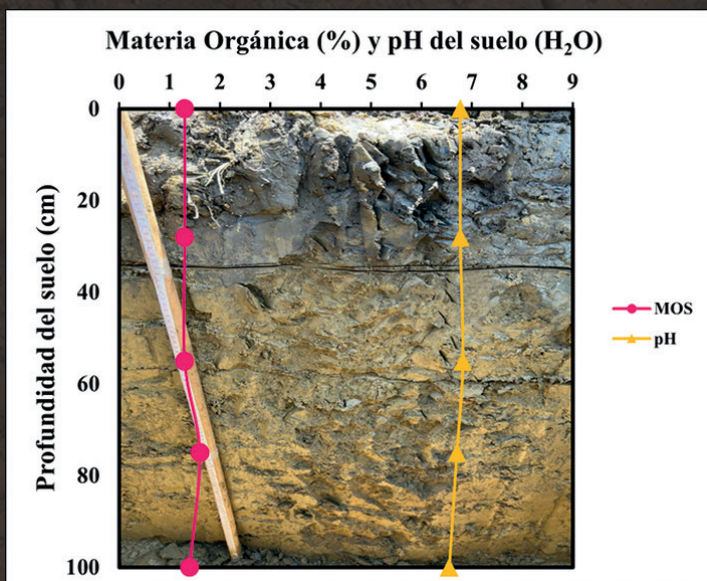


Figura 8.54. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

PÁEZ

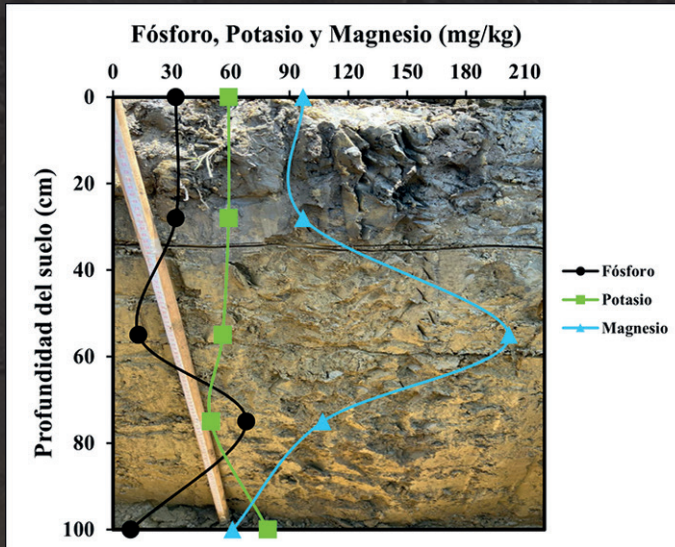


Figura 8.55. Comportamiento de los nutrientes Fósforo, Potasio y Magnesio a lo largo del perfil.

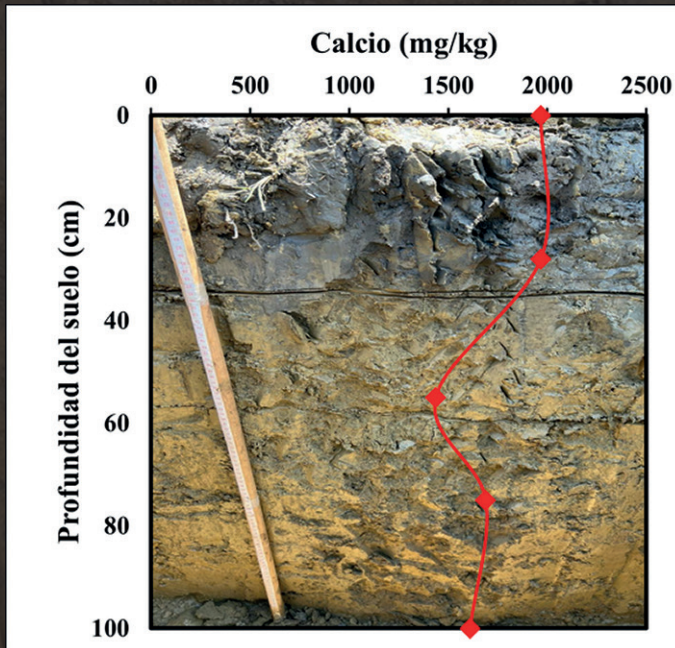


Figura 8.56. Comportamiento del nutriente Calcio a lo largo del perfil.

TURÉN

La calicata fue realizada en el sector San Isidro Labrador, municipio Turén, situado en la región nordeste del Estado de Portuguesa, Venezuela, en la propiedad del productor Cosimo De Nunzio. El suelo de la localidad (Figura 8.57) es caracterizado por presentar una textura compuesta por 12.75% de arena, 41.75% de limo y 45.5% de arcilla. A lo largo de los 100 centímetros de profundidad evaluados, se encontró 2.12% de materia orgánica y un pH en agua de 7.46. En cuanto a la fertilidad del suelo, este presentó valores medios de 1.639 mg/kg de calcio, 1.042 mg/kg de magnesio y 77.25 mg/kg de potasio. Las figuras 8.58 a 8.61 presentan el comportamiento de esos nutrientes a lo largo del perfil muestreado.



Figura 8.57. Perfil de suelo encontrado en la propiedad del productor Cosimo De Nunzio, Municipio Turén, Estado de Portuguesa, Venezuela.

TURÉN

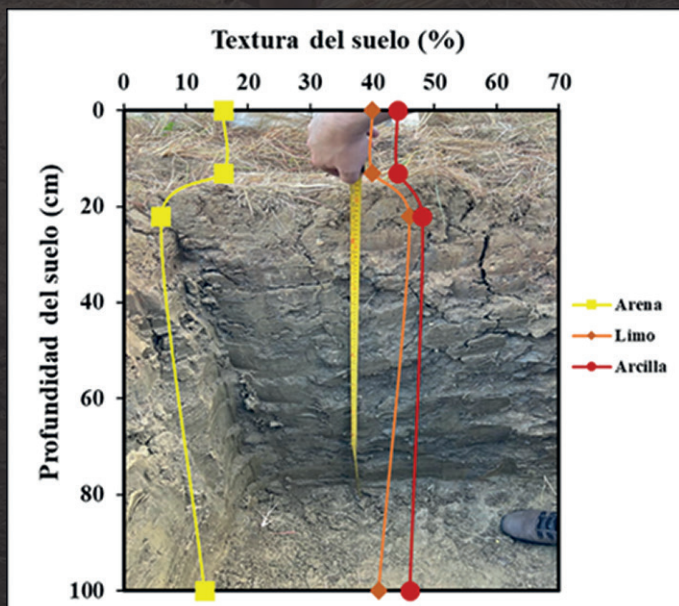


Figura 8.58. Comportamiento de las fracciones de arena, limo y arcilla a lo largo del perfil.

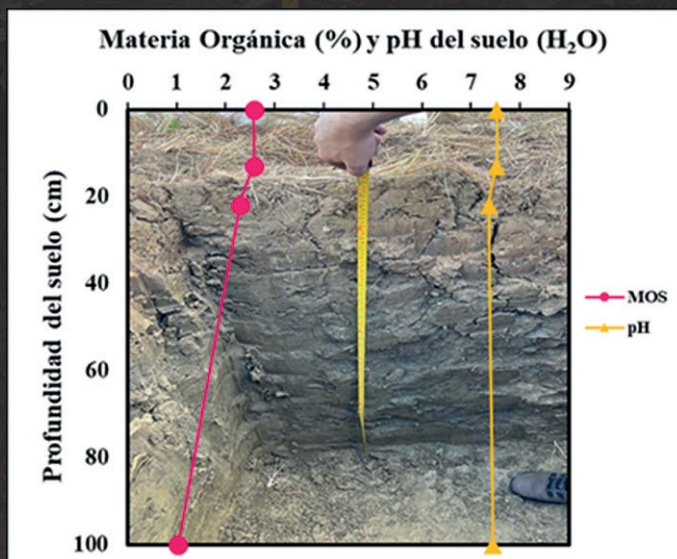


Figura 8.59. Comportamiento de las fracciones de materia orgánica y pH en agua a lo largo del perfil.

TURÉN

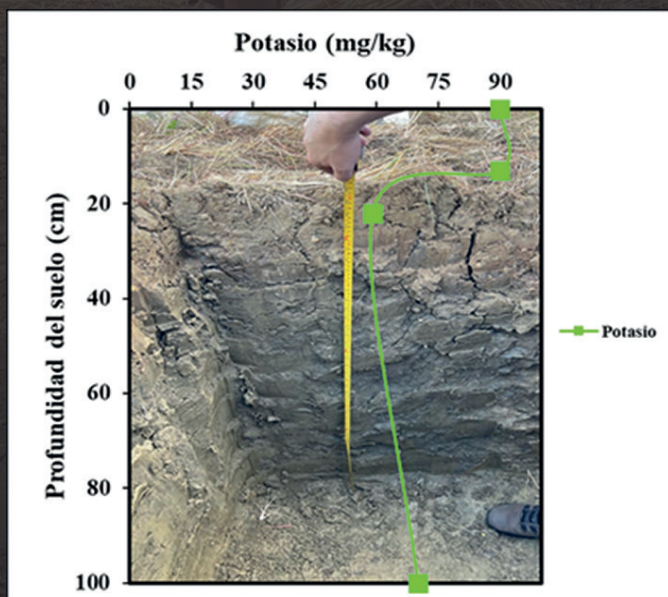


Figura 8.60. Comportamiento del nutriente potasio a lo largo del perfil.

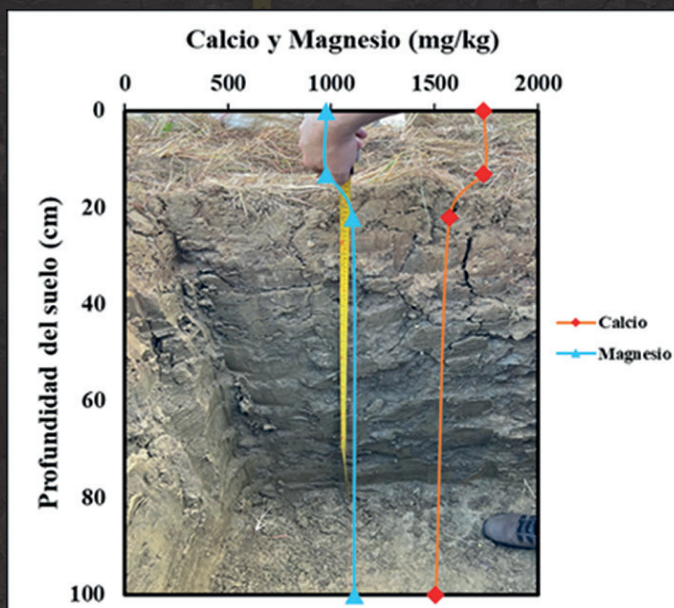


Figura 8.61. Comportamiento de los nutrientes Calcio y Magnesio a lo largo del perfil.



9. Herramientas y datos para estimar los potenciales de rendimiento en Venezuela

Los datos de los experimentos sirvieron como forma de evaluar la capacidad del modelo basado en procesos, Oryza v3 y CropGro para arroz y soya respectivamente, y así, simular los rendimientos potenciales de estos cultivos en Venezuela. Oryza v3 y CropGro son modelos de simulación de crecimiento, desarrollo y rendimiento, y son representaciones simplificadas de la realidad (Soltani; Sinclair, 2011). Los modelos basados en procesos son las herramientas más recomendadas y aceptadas en la comunidad científica para estimar el potencial de rendimiento de los cultivos agrícolas (Lobell et al., 2009).

Fueron realizados experimentos en el municipio de Araure en Portuguesa para evaluar la fenología y rendimientos de arroz y soya en Venezuela. Para el cultivo de arroz se realizaron 3 fechas de siembra con el cultivar ASP18 y para soya se realizaron 8 fechas de siembra con cultivares de grado de maduración 8.1, 8.3 y 8.8. Estos datos de fenología y rendimiento son fundamentales para validar los modelos agrícolas, ya que, a partir de estos datos es posible definir si la fenología y el rendimiento informado por el modelo son acordes con lo observado en el campo. Cada punto de las Figuras 9.1a-b y 9.2a-b representa los valores de fenología y rendimiento observados y simulados.

Cuanto más cerca estén de la línea denominada 1:1, más cerca estará el valor simulado del observado. Los puntos por debajo de la línea 1:1 indican que el modelo subestimó la fenología o rendimiento y los puntos por encima de la línea representan una sobreestimación por parte del modelo. Los valores del error cuadrático medio (RMSE) indican la diferencia promedio entre los valores simulados y observados de fenología (5.6 y 9.5 días) y rendimientos (0.9 y 0.3 t/ha) para arroz y soya, respectivamente.

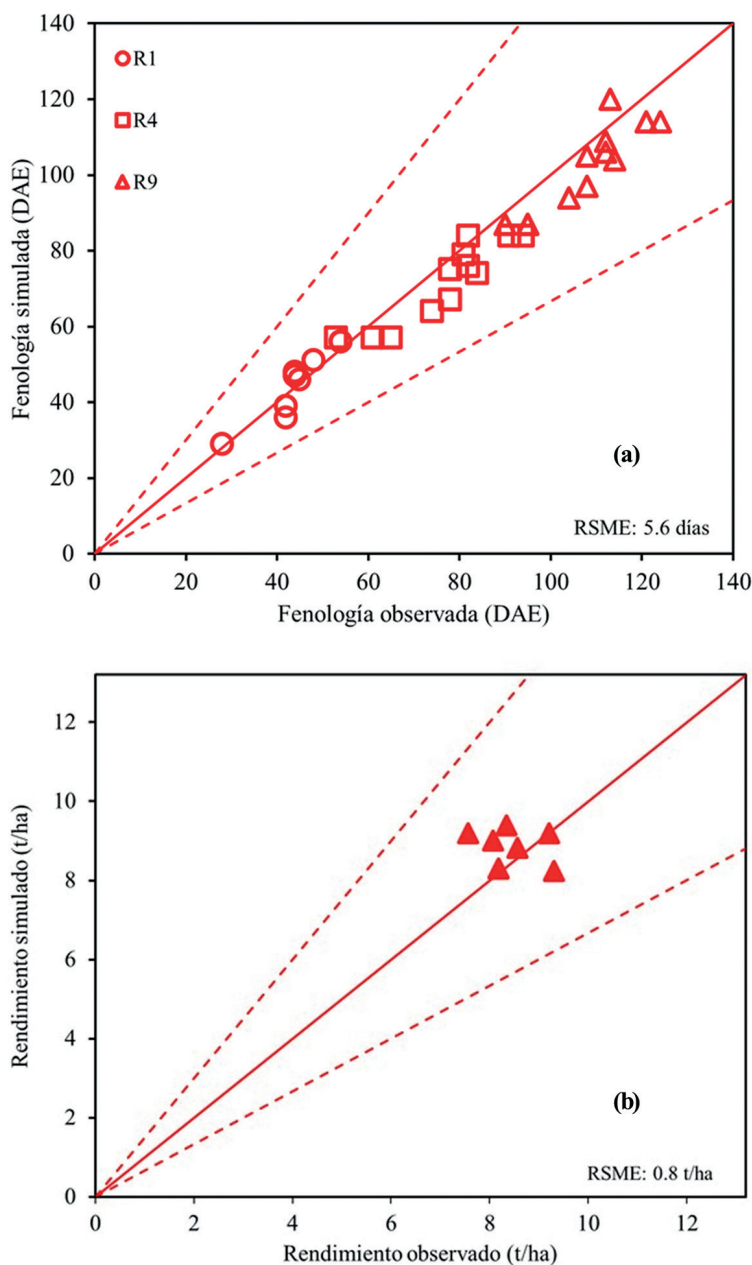


Figura 9.1. (a) Fenología observada y simulada, (b) el rendimiento de grano para el arroz. La línea rojo continua representa $y = x$, las líneas rojo discontinuas representan una desviación de $\pm 20\%$ de la línea $y = x$. RMSE = raíz del error cuadrático medio. Los estados fenológicos del arroz se basaron en la escala de Counce et al. (2000).

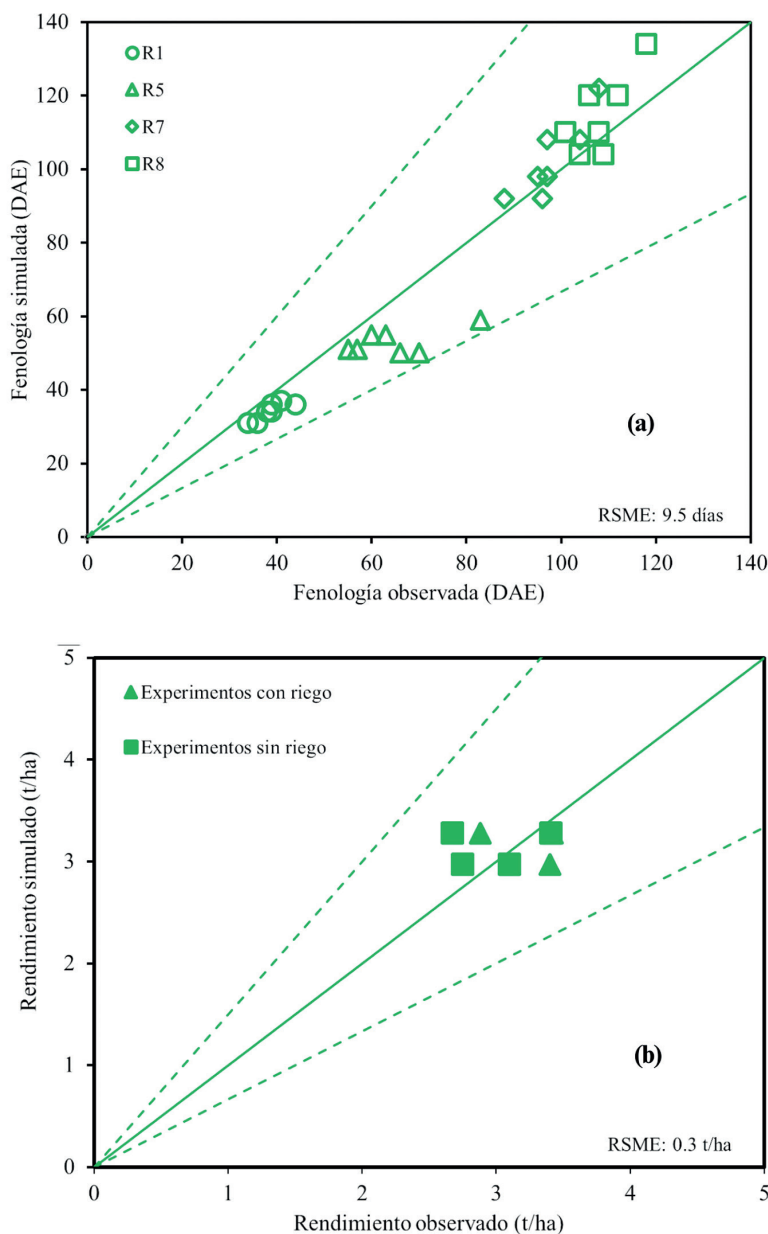


Figura 9.2. (a) Fenología simulada y observada, (b) el rendimiento de grano para la soja. No painel (b), los triángulo verdes son experimentos de secano y las cuadrículas verdes de riego. La línea verde continua representa $y = x$ las líneas verdes discontinuas representan una desviación de $\pm 20\%$ de la línea $y = x$. RMSE = raíz del error cuadrático medio. Los estados fenológicos de la soja se basaron en las escala de Fehr y Caviness (1977).

Para que la estimación potencial sea confiable y represente la realidad de las regiones en diferentes años, se recomienda utilizar 15 años de datos meteorológicos para cultivos de secano y al menos 10 años de datos para cultivos de riego (Grassini et al., 2015). Para realizar las simulaciones en el Oryza v3 para arroz, se requirieron datos de temperatura máxima, temperatura mínima y radiación solar. Para simulaciones en el modelo CropGro para soya, se requirieron datos de temperatura máxima y temperatura mínima, radiación solar, lluvia, velocidad del viento, humedad relativa y punto de rocío. Además, se utilizaron datos físicos y químicos del suelo para analizar el balance hídrico durante el cultivo, tales como: contenido de arena, limo, arcilla, materia orgánica y pH a lo largo de un metro del perfil de suelo.

Al no contar con datos meteorológicos locales entre los años 2008 a 2017, se utilizaron datos satelitales de NasaPower (<https://power.larc.nasa.gov/>) para completar la base de datos necesaria para la simulación. Para validar y ajustar los datos meteorológicos de los satélites se generó una ecuación de ajuste entre los datos medidos de las estaciones y los datos estimado de los satélites (Figura 9.3).

Los datos meteorológicos fueron coletados de cuatro estaciones meteorológicas de referencia, que forman parte de la red de estaciones meteorológicas de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y ASOPORTUGUESA. En las Figuras 9.4 y 9.5 presentamos los valores promedio del 2008 al 2022 de temperatura máxima, temperatura mínima, radiación solar, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento y punto de rocío para las estaciones meteorológicas de referencia de Acarigua (ACAR), Majaguas (MAJA), Gateao (GATE) y Calabozo (CALA).

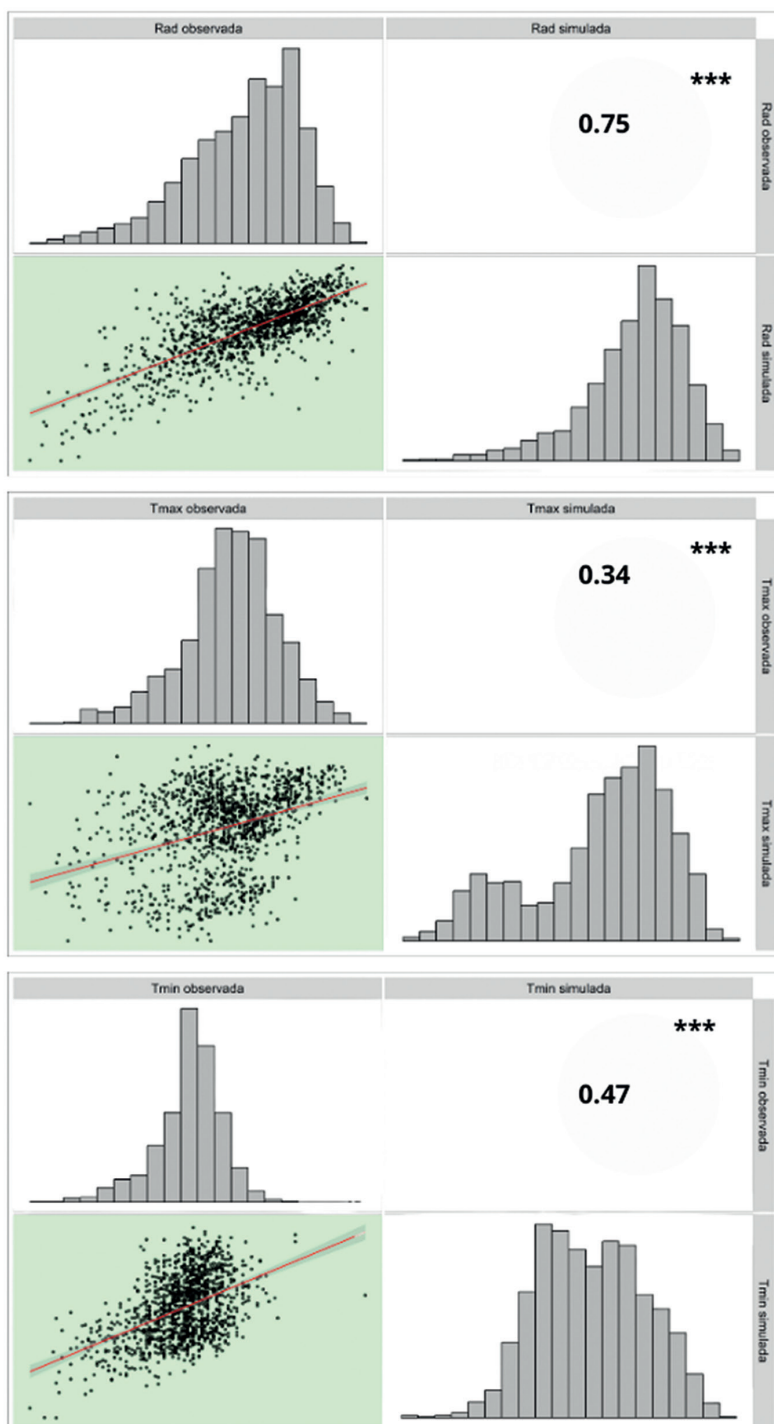


Figura 9.3. Ejemplo de análisis estadísticos realizados para la correlación entre datos observados de estaciones meteorológicas y datos estimados de NASAPOWER para Radiación solar incidente (RAD), Temperatura máxima (Tmax), Temperatura mínima (Tmin) por el software Rstudio.

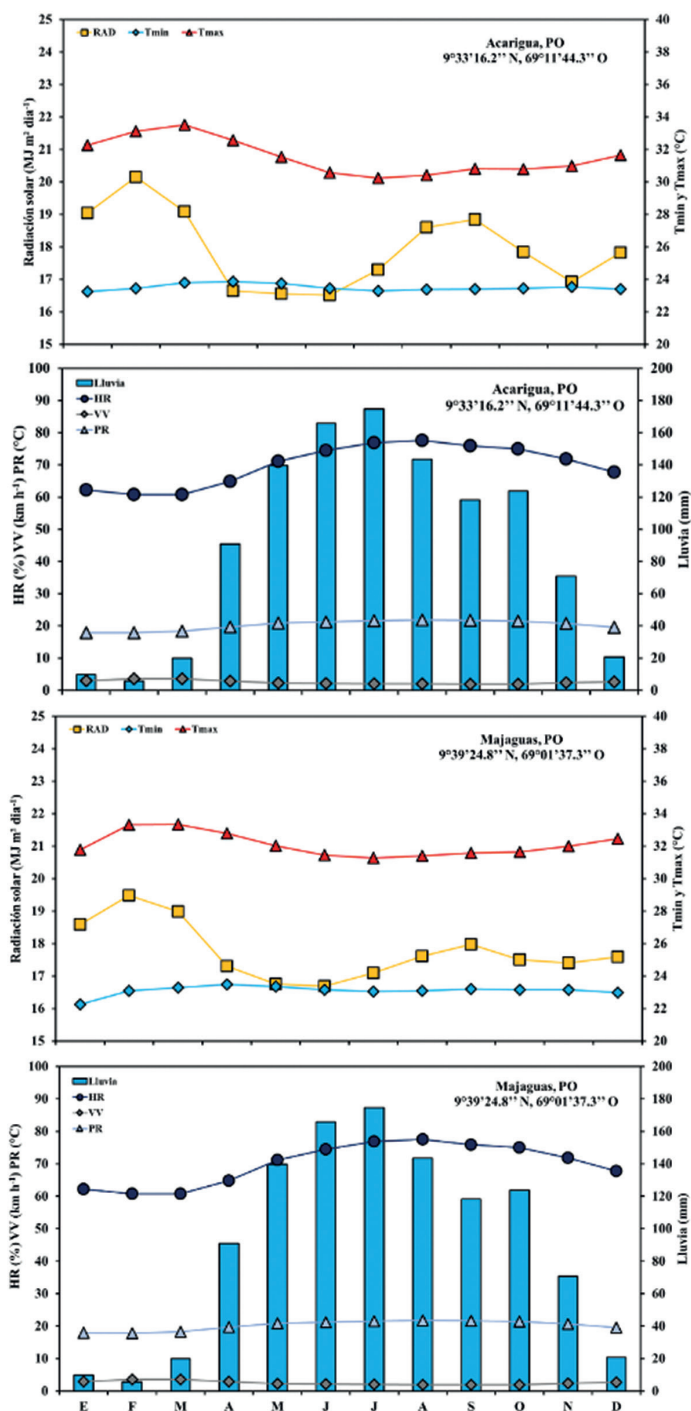
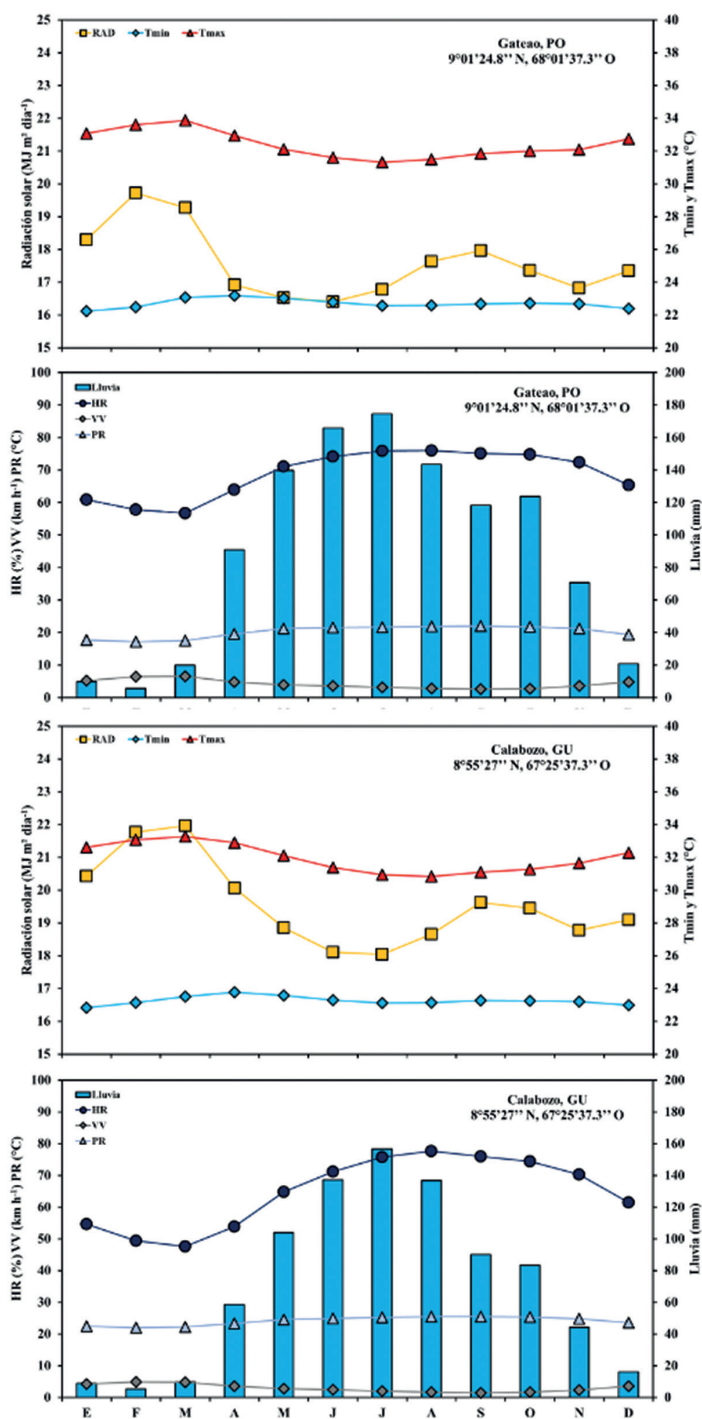


Figura 9.4. Media de 15 años (2008 a 2022) de Radiación solar incidente media (RAD), Temperatura máxima (T_{max}), Temperatura mínima (T_{min}), Lluvia (mm), Humedad relativa (HR), Velocidad del viento (VV) y Punto de rócío (PR), para las Estaciones Meteorológicas de Referencia (EMR) de Acarigua (ACAR) y Majaguas (MAJA).

Figura 9.5. Media de 15 años (2008 a 2022) de Radiación solar incidente (RAD), Temperatura máxima (Tmax), Temperatura mínima (Tmin), Lluvia (mm), Humedad relativa (HR), Velocidad del viento (VV) y Punto de rocío (PR), para las Estaciones Meteorológicas de Referencia (EMR) de Gateao (GATE) y Calabozo (CALA).



Además de los datos meteorológicos, el Oryza v3 utiliza datos de entrada relacionado al manejo del cultivo (ciclo de desarrollo, fecha de siembra y densidad de siembra). Esos datos deben representar el sistema de cultivo de cada región, buscando una estimativa más realista, usamos el ciclo de desarrollo y la densidad de siembra representativos del cultivo en la región y la fecha de siembra determinada cuando 50% del área de arroz estaba sembrada (Figura 9.6). Estas informaciones fueron obtenidas en reuniones con ingenieros agrónomos especialistas de FUNDARROZ en el cultivo de arroz.

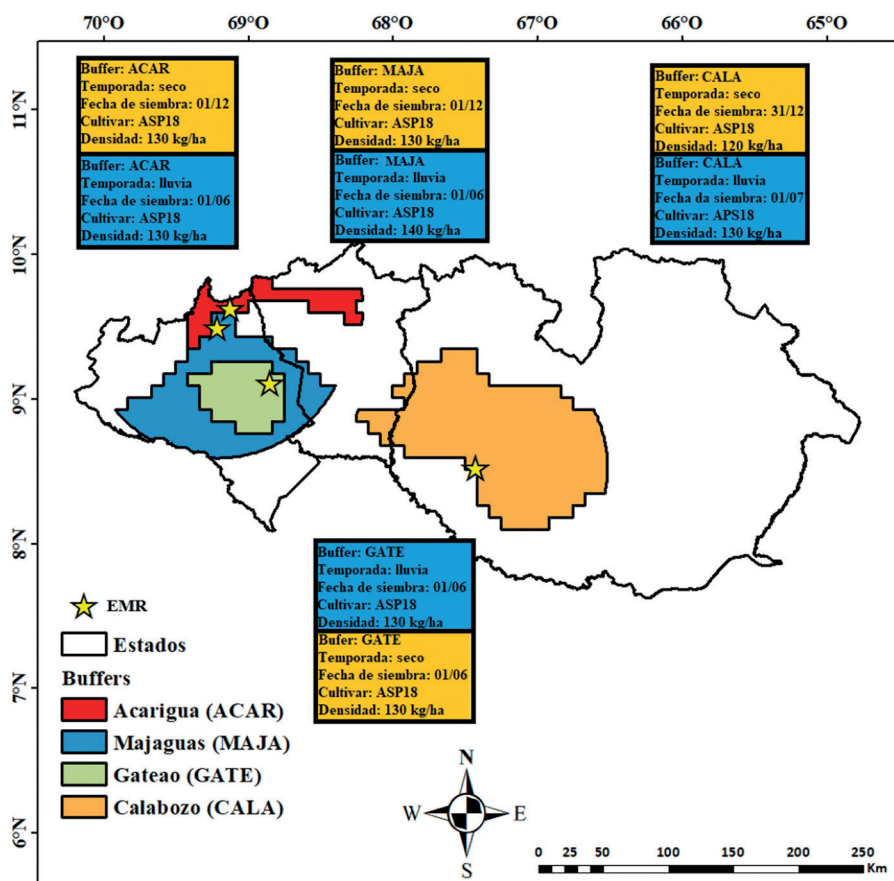


Figura 9.6. Temporada, fecha, cultivar y densidad de siembra para cada una de las regiones de estudio para el cultivo del arroz.

Para el cultivo de soya, como prácticamente no se realiza siembra de dicho cultivo en área de arroz en Venezuela, fue determinado a través de reuniones con técnicos y productores de la región una época de siembra posible. Además de eso, los datos de entrada relacionado al manejo del cultivo (grupo de madurez, fecha de siembra y densidad de siembra), se obtuvieron de acuerdo a lo que los productores estuvieron realizando en parcelas demostrativas con cultivo de soya (Figura 9.7). Los datos de química y física de suelo necesarios para el modelo CropGro, se adquirieron a través de las calicatas realizadas en las fincas de estos productores.

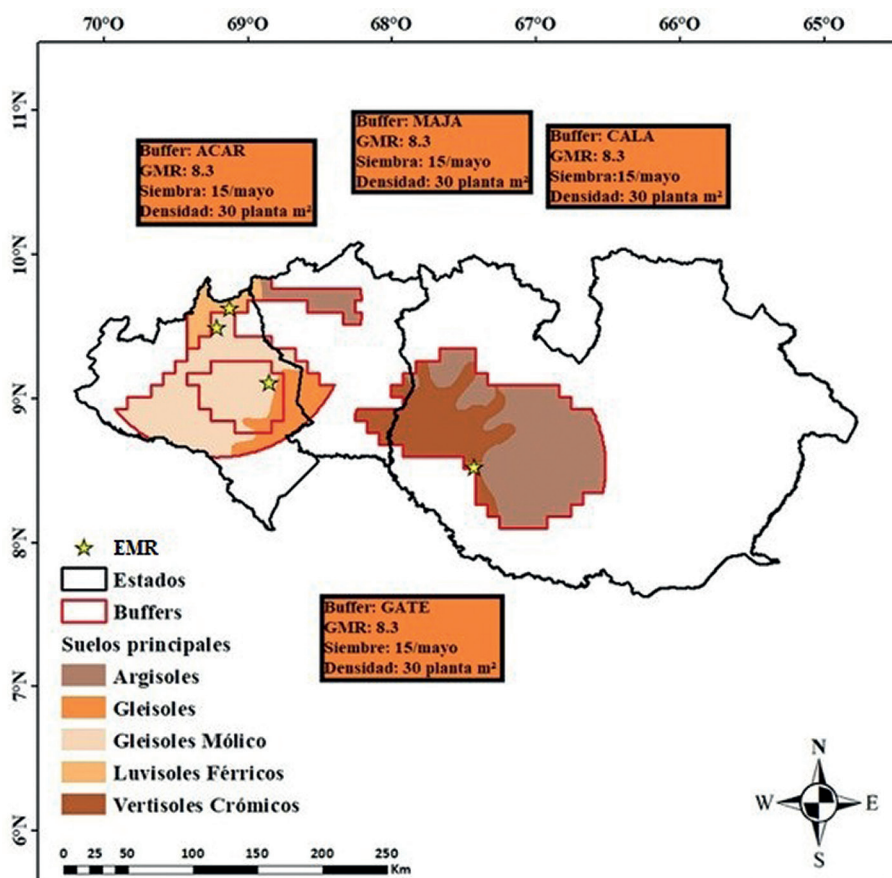


Figura 9.7. Grupo de madurez, fecha de siembra, densidad de siembra y clasificación de suelo de cada una de las regiones de estudio.



10. Potencial y brechas de rendimiento de arroz y soya en el mundo

10.1. Potencial de rendimiento de arroz en el mundo

El potencial de rendimiento del arroz irrigado en el mundo varía de 7 a 15 t/ha (Figura 10.1.1). La variabilidad del potencial de rendimiento, entre regiones, y entre safras, está asociada a cambios en los cultivares y en el ambiente, principalmente precipitación y radiación solar en las fases de floración y llenado de granos (Lobell et al., 2009; Yang et al., 2021).

Además, las regiones de producción de arroz próximas a 30° (región subtropical) presentan mayor potencial de rendimiento en relación con menores latitudes, pues hay menos radiación solar disponible durante la estación de crecimiento en la región tropical. Los países de América Latina con los más altos potenciales de rendimiento de arroz irrigado, son Argentina con 15 t/ha, Brasil con 14.8 t/ha y Uruguay con 14 t/ha.

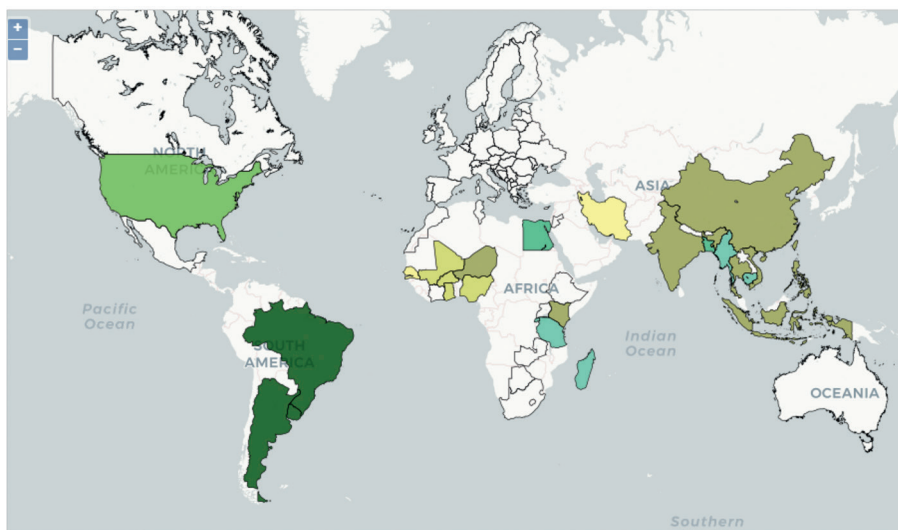


Figura 10.1.1. Potencial de rendimiento de arroz irrigado en el mundo. Fuente: GYGA (www.yieldgap.org/). Los colores indican la variación del potencial de rendimiento en los países.

10.2. Brecha de rendimiento de arroz en el mundo

En los países en vías de desarrollo, en general, las brechas de rendimiento son mayores que en los países desarrollados (Figura 10.2.1). Por lo tanto, en esos países existen las mayores oportunidades de aumentar la producción de alimentos sin aumentar el área de cultivo.

Conocer las brechas de rendimiento auxilia en la identificación de los factores que causan pérdidas en los cultivos, y así, en la búsqueda por estrategias específicas para aumentar lo rendimiento de cada país, posibilitando que los agricultores seleccionen prácticas que mejoran la lucratividad y la sustentabilidad de la actividad agrícola (Water et al., 2015; Di Mauro et al., 2018; Agus et al., 2019; Deng et al., 2019).

China es el mayor productor de arroz del mundo, estando entre los países con menor brecha de rendimiento. Mientras que Argentina que posee el mayor potencial de rendimiento, también presenta una gran brecha de producción que puede ser explorada.

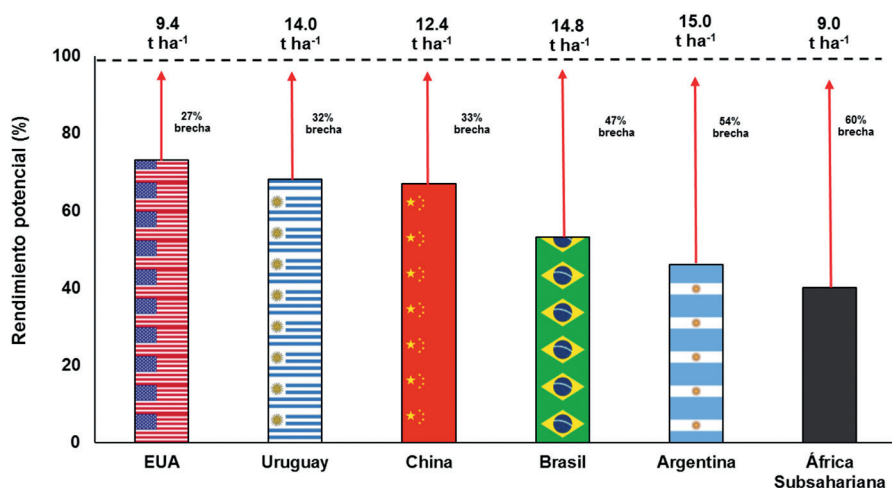


Figura 10.2.1. Potencial y brechas de rendimiento de arroz de los Estados Unidos (EUA), Uruguay, China, Brasil, Argentina y África Subsahariana. Fuentes: Espe et al., 2016; Van Ittersum et al., 2016; Carracelas et al., 2019b; Deng et al., 2019; Quintero et al., 2009, 2017. Disponible en: <https://inia.uy> (INIA, 2023); <https://www.yieldgap.org> (GYGA, 2023).

10.3. Potencial de rendimiento de soya en el mundo

La soya tiene un alto valor nutricional en su grano (20% aceite y 35% proteína) convirtiéndola en la principal oleaginosa consumida y producida en el mundo (EMBRAPA, 2022). Según datos estimados por GYGA (www.yieldgap.org/), el potencial de rendimiento de la soya en el mundo, en promedio, varía de 4.5 a 6.6 t/ha (Figura 10.3.1).

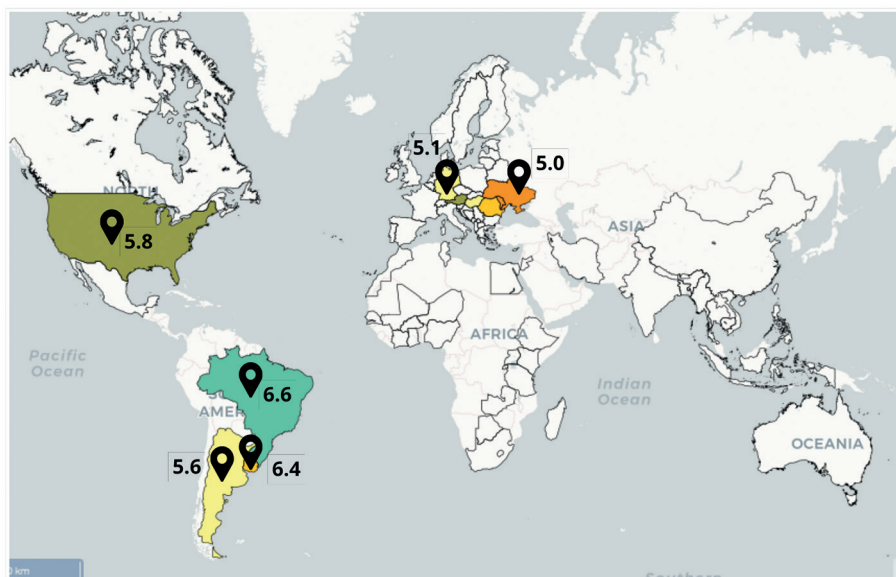


Figura 10.3.1. Potencial de rendimiento de la soya en el mundo (t/ha). Fuente: GYGA (www.yieldgap.org/). Los colores indican la variación en el potencial de rendimiento entre países.

10.4. Brechas de rendimiento de soja en el mundo

El mayor productor de soja del mundo (Brasil) es también el país con mayor potencial de rendimiento y con una brecha explorable significativa, lo que indica altas expectativas de aumentar aún más el rendimiento y la producción (Figura 10.4.1). Los Estados Unidos, segundo mayor productor de soja, es también el que presenta la menor brecha de rendimiento, pero aún puede aumentar en un 25% hasta alcanzar el potencial alcanzable del 80%.

Los estudios sobre la brecha de rendimiento se han utilizado para las decisiones de política agrícola (Deng et al., 2019), con el objetivo de identificar y cuantificar los factores biofísicos y de manejo, que limitan el aumento de rendimiento, para luego, brindar orientación sobre cómo mejorar las prácticas de manejo actuales (van Ittersum et al., 2013).

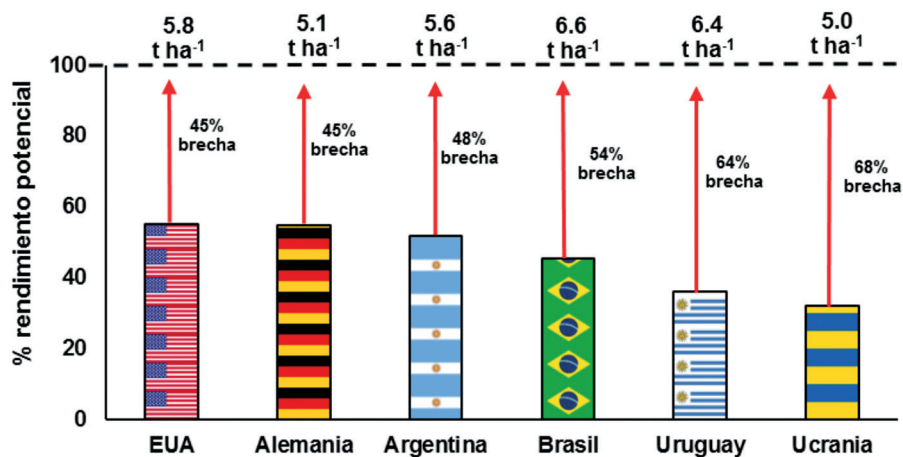


Figura 10.4.1. Potencial y brecha de rendimiento de la soja en Estados Unidos (EUA), Alemania, Argentina, Brasil, Uruguay y Ucrania. Fuentes: Grassini et al., (2015), Merlos et al., (2015), (Rizzo et al., (2021), Tagliapietra et al., (2021), GYGA, (2023) <https://www.Yieldgap.org>.

10.5. Potencial de rendimiento de secano para la soya en el mundo

En los sistemas de cultivo de secano, el potencial de rendimiento de secano (Prs) está determinado por la cantidad, disponibilidad y distribución del agua, el suelo y las propiedades del paisaje, como por ejemplo, la capacidad de retención de agua en el suelo y la pendiente del terreno (Lobell et al., 2009; Van Ittersum et al., 2013). El tamaño de la brecha puede tomarse como un indicador de la actual capacidad de producción de cereales no explotada (Figura 10.5.1) (Cassman et al., 2003; Lobell et al., 2009).

Conocer el Prs para diferentes regiones climáticas y características de suelo permite a los productores planificar sus cultivos de manera más eficiente, pudiendo ajustar la inversión de recursos para lograr un rendimiento cercano al 80% o superior al Prs, maximizando la eficiencia en el uso de recursos.

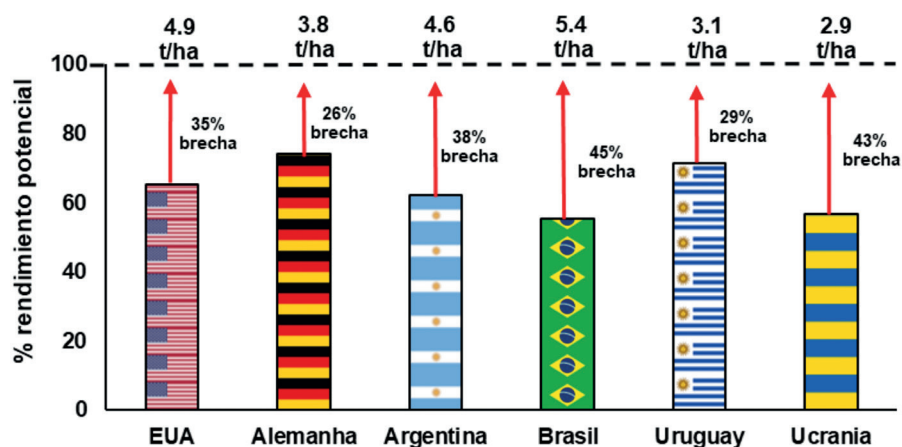
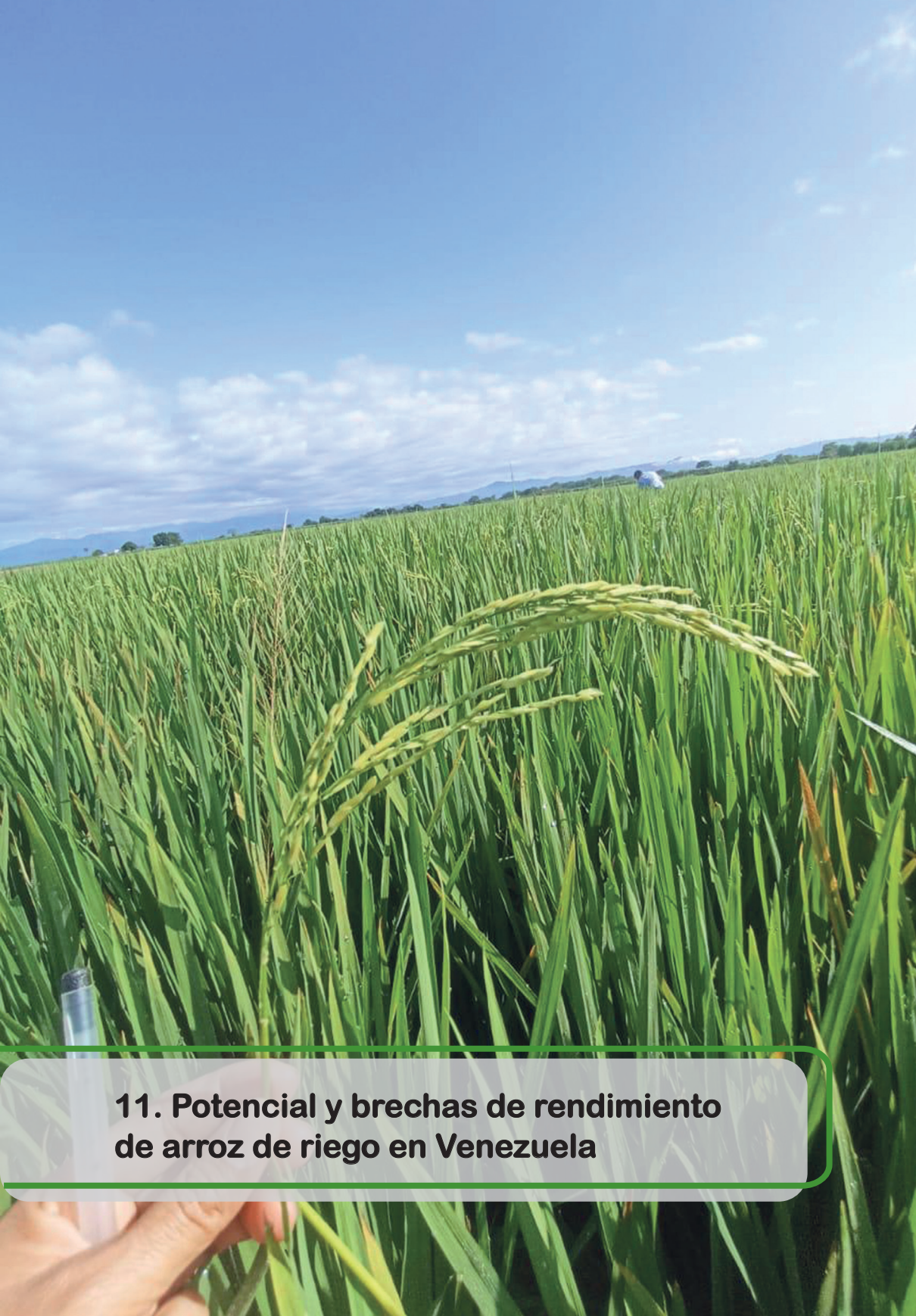


Figura 10.5.1. Potencial de rendimiento de secano para la soya en Estados Unidos (EUA), Alemania, Argentina, Brasil, Uruguay y Ucrania. Fuente: GYGA (www.yieldgap.org/).



11. Potencial y brechas de rendimiento de arroz de riego en Venezuela

11.1. Rendimiento potencial del arroz de riego en Venezuela - Temporada de lluvia

Como el arroz se cultiva mayormente con riego, es decir sin limitación de secano, sólo se estimó el potencial de rendimiento (Pr). El potencial de rendimiento durante la temporada de lluvia osciló entre 8.1 y 9.9 t/ha (Figura 11.1.1). El mayor potencial se encuentra en el *buffer zone* Calabozo en el Estado Guárico, donde la siembra es más tardía y tiene mayor radiación solar. Los *buffers zones* de Acarigua, Gateao y Majaguas tienen un potencial de 8.6, 8.3 y 8.1 t/ha, respectivamente.

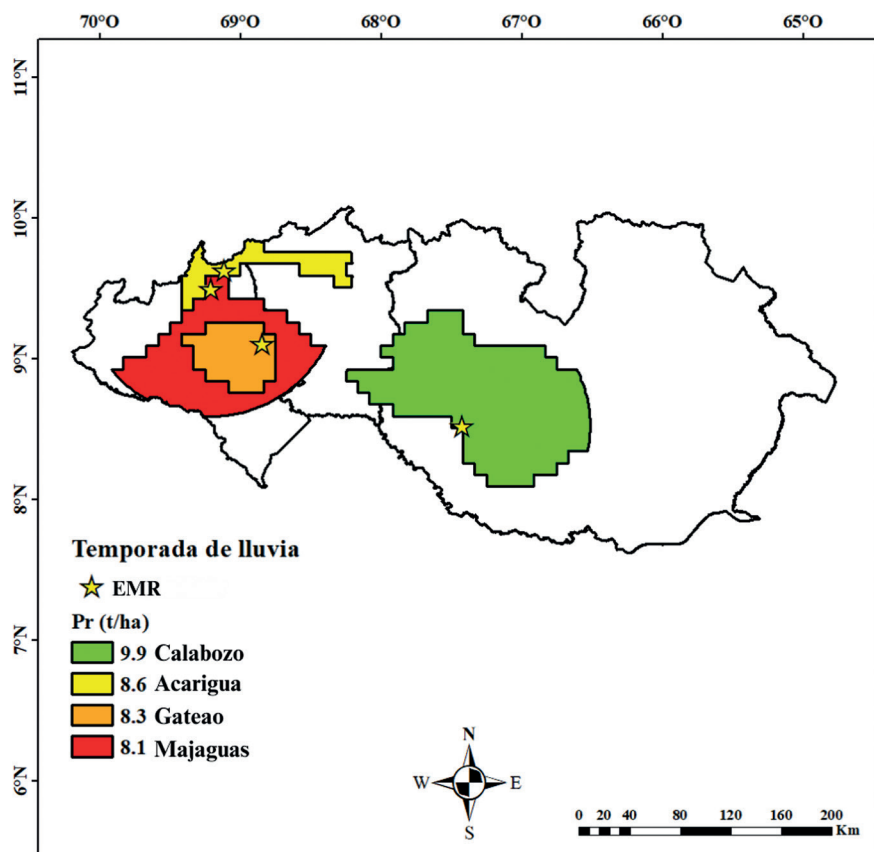


Figura 11.1.1. Potencial de rendimiento (Pr) del arroz de riego durante la temporada de lluvia en Venezuela (en toneladas por hectárea).

11.2. Rendimiento alcanzable del arroz de riego en Venezuela - Temporada de lluvia

El potencial de rendimiento alcanzable (Pa) es cuando producimos el 80% del potencial de rendimiento de un cultivo agrícola. Este es el valor que garantiza el mayor retorno tanto en producción como económicamente para el productor. El rendimiento alcanzable durante la temporada de lluvia osciló entre 6.5 y 7.9 t/ha (Figura 11.2.1). El mayor potencial alcanzable se encuentra en Calabozo en el Estado Guárico con 7.9 t/ha. Los *buffers zones* de Acarigua, Gateao y Majaguas tienen un potencial alcanzable de 6.9, 6.6 y 6.5 t/ha, respectivamente.

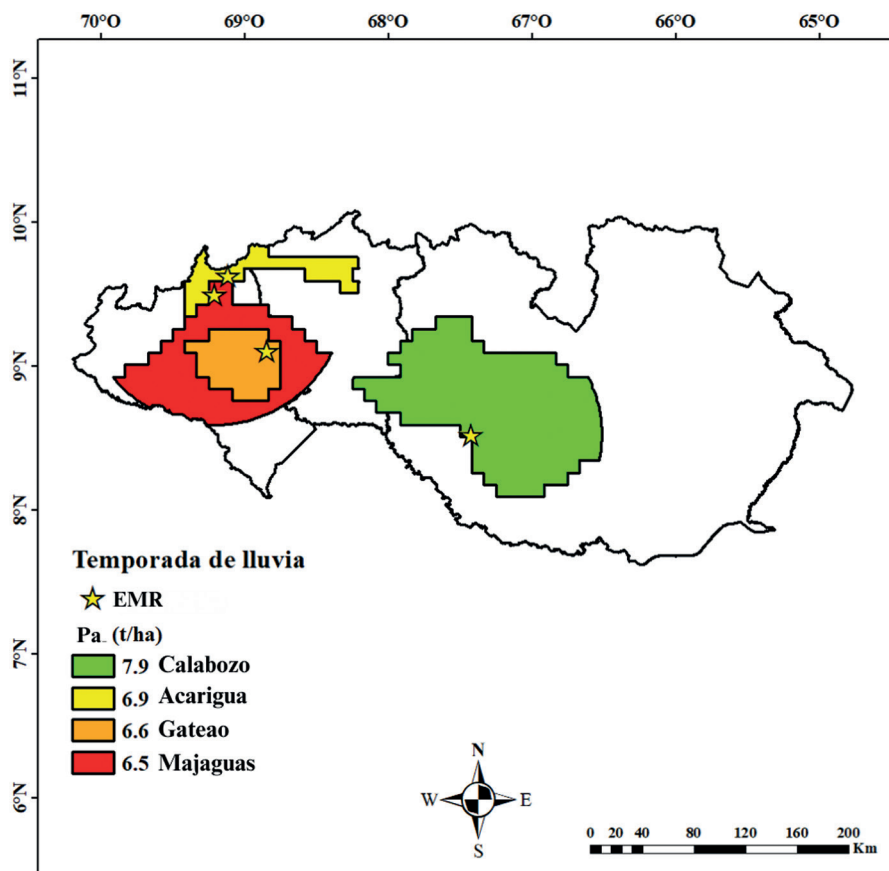


Figura 11.2.1. Potencial de rendimiento alcanzable (Pa) de arroz de riego durante la temporada de lluvia en Venezuela (en toneladas por hectárea).

11.3. Rendimiento promedio del arroz de riego en Venezuela - Temporada de lluvia y seca

Debido a la dificultad para encontrar datos de rendimiento promedio para cada *buffer zone* y temporada, se utilizó el rendimiento promedio del país (4.3 t/ha) para todos *buffers zones*: Calabozo, Acarigua, Majaguas, Gateao por temporadas. Realizamos un análisis de los datos de rendimiento de FEVEARROZ y FAO, observamos una buena correlación entre las dos fuentes de datos con RSME de 0.6 t/ha (Figura 11.3.1). Datos de rendimiento promedio de las últimas cinco cosechas (2018-2022) de FEVEARROZ fueron utilizados para determinar el nivel de correlación de base de datos nacionales.

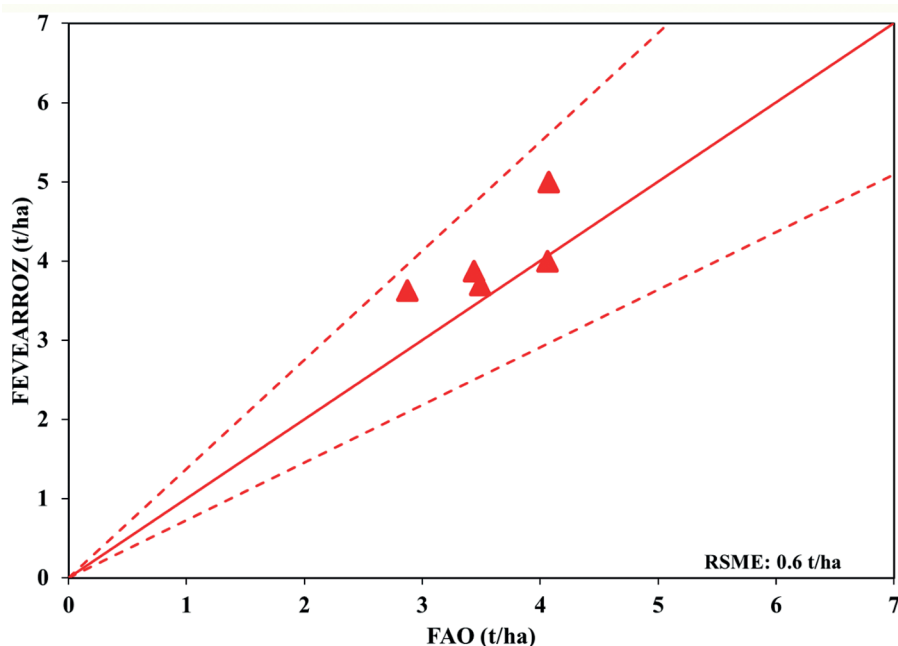


Figura 11.3.1. Rendimiento simulado y observado de arroz por FEVEARROZ y FAO en Venezuela. La línea roja continua representa $y = x$ las líneas rojas discontinuas representan una desviación de $\pm 20\%$ de la línea $y = x$. RMSE = raíz del error cuadrático medio.

11.4. Brecha de rendimiento del arroz de riego en Venezuela - Temporada de lluvia

La brecha de rendimiento fue determinada por la diferencia entre el potencial de rendimiento alcanzable y el rendimiento promedio ($P_a - P_m$). Las brechas de rendimiento oscilaron entre 2.2 y 3.6 t/ha (Figura 11.4.1) para la temporada de lluvia. La brecha más grande está en el *buffer zone* Calabozo, donde es posible incrementar casi 4 t/ha. Para los *buffer zones* Acarigua, Majagua y Gateao es posible aumentar de 2 a 3 t/ha. Como el cultivo del arroz se realiza con riego, estos incrementos están asociados al manejo del cultivo y está en manos de técnicos y productores tomar decisiones correctas.

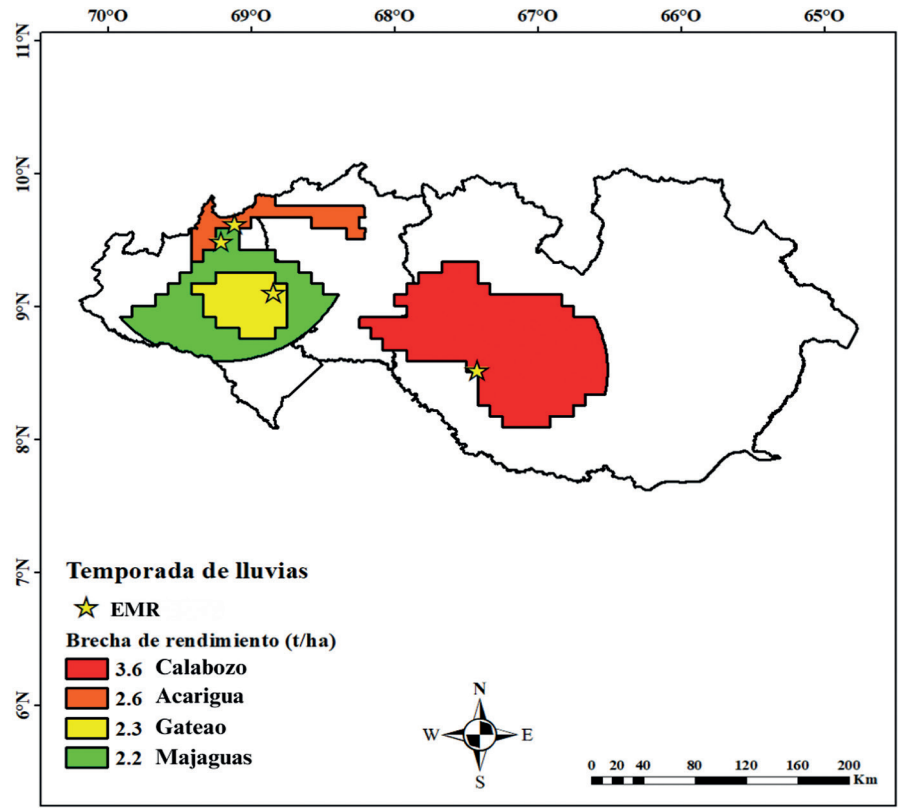


Figura 11.4.1. Brecha de rendimiento del arroz de riego durante la temporada de lluvia en Venezuela. Las *buffer zones* coloreadas representan la brecha de rendimiento (en toneladas por hectárea).

11.5. Rendimiento potencial del arroz de riego en Venezuela - Temporada seca

Los potenciales de rendimiento en la temporada seca oscilaron entre 10.4 y 10.9 t/ha de arroz (Figura 11.5.1). La *buffer zone* Gateao fue la que tuvo el mayor potencial de rendimiento con 10.9 t/ha. Los otros *buffers* Acarigua, Majaguas y Calabozo tienen un potencial de 10.4 a 10.5 t/ha. El mayor potencial de la temporada seca en relación con la temporada de lluvias está directamente asociado con una mayor disponibilidad de radiación solar.

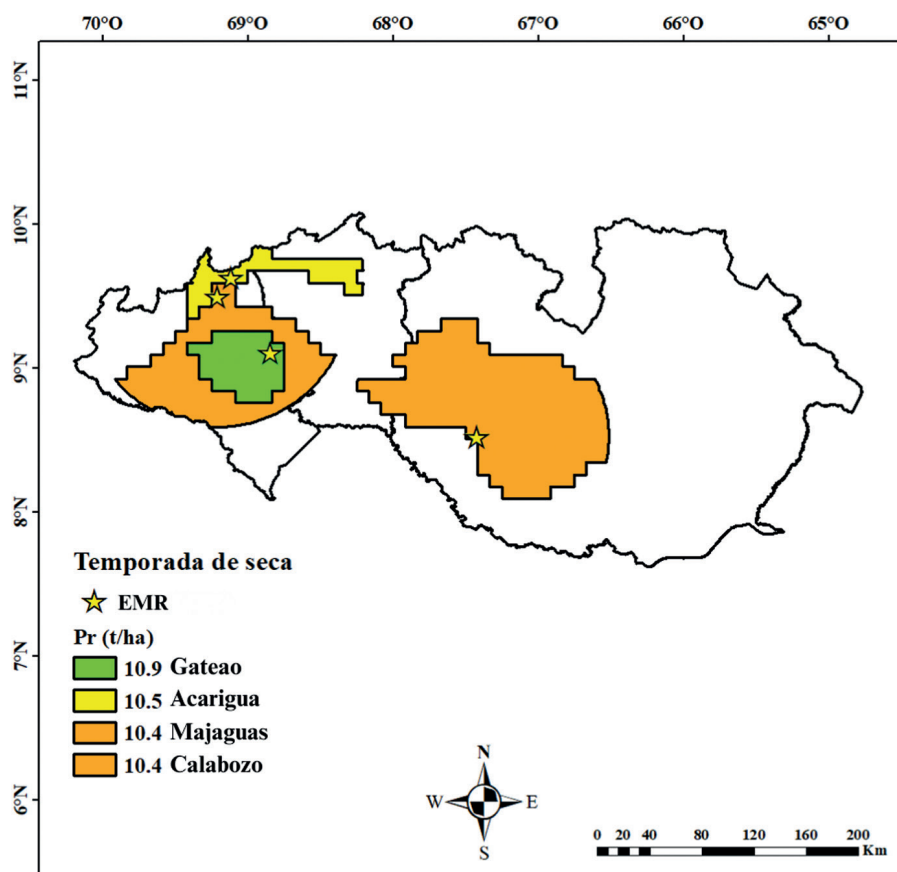


Figura 11.5.1. Potencial de rendimiento (Pr) del arroz de riego durante la temporada de seca en Venezuela (en toneladas por hectárea).

11.6. Rendimiento alcanzable del arroz de riego en Venezuela - Temporada seca

Los rendimientos alcanzables en la temporada seca oscilaron entre 8.3 y 8.7 t/ha de arroz (Figura 11.6.1). La zona *buffer* Gateao fue la que tuvo el mayor potencial alcanzable con 8.7 t/ha. Los otros *buffers* Acarigua, Majaguas y Calabozo tienen potenciales alcanzables de 8.4, 8.3 y 8.3 t/ha, respectivamente.

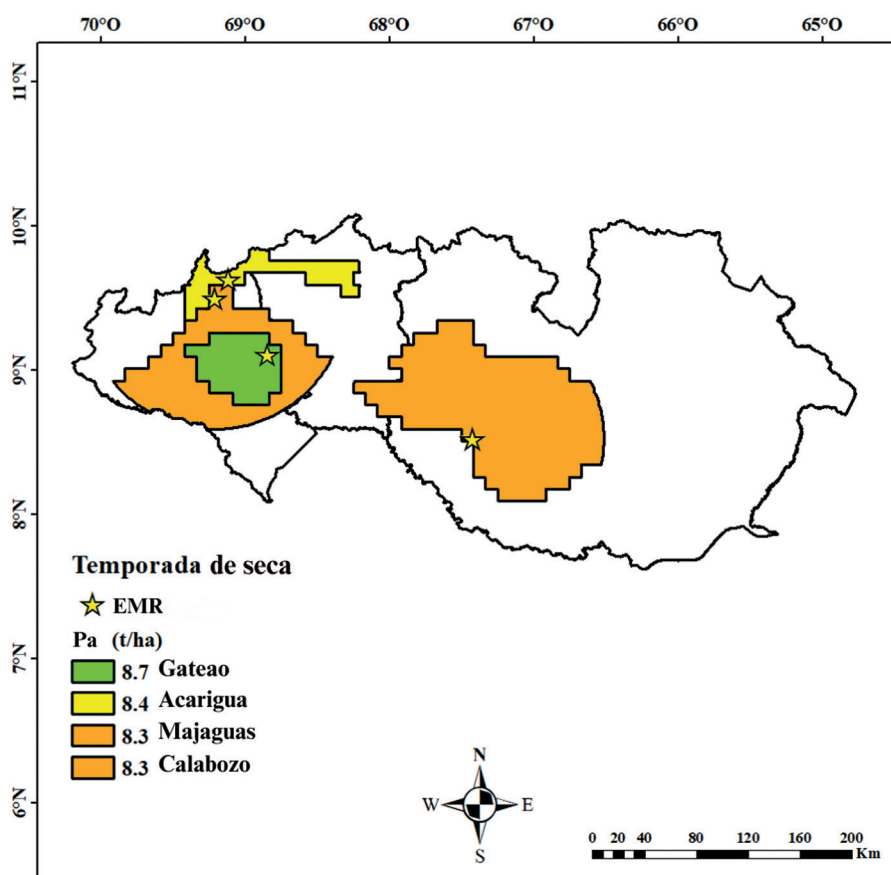


Figura 11.6.1. Potencial de rendimiento alcanzable (Pa) de arroz de riego durante la temporada seca en Venezuela (en toneladas por hectárea).

11.7. Brecha de rendimiento del arroz de riego en Venezuela - Temporada seca

Las brechas de rendimiento oscilaron entre 4 y 4.4 t/ha para la temporada seca (Figura 11.7.1). La mayor brecha se encuentra en el *buffer* Gateao, donde es posible aumentar casi 4.4 t/ha, lo que brinda una gran oportunidad para aumentar los rendimientos. Para los *buffers* Acarigua, Majaguas y Calabozo es posible aumentar de 4 a 4.1 t/ha. Esa brecha de rendimiento representa una gran oportunidad de aumentar la producción de arroz en la actual área agricultable, a través de la adopción de buenas prácticas de manejo.

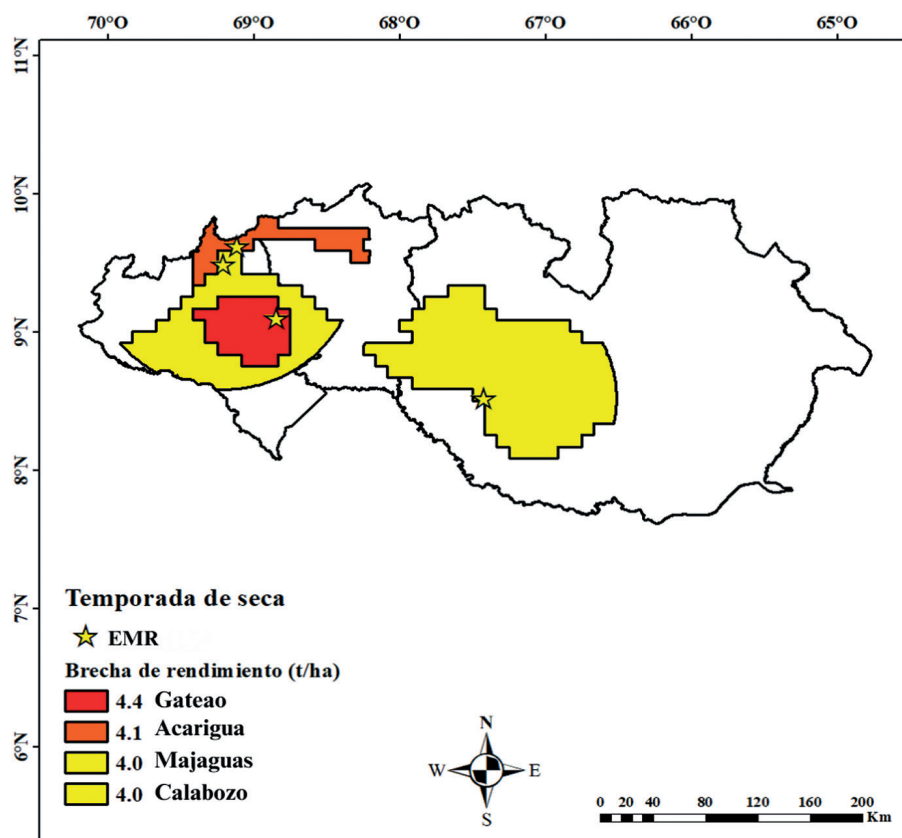


Figura 11.7.1. Brecha de rendimiento del arroz de riego durante la temporada seca en Venezuela. Las *buffer zones* coloreadas representan la brecha de rendimiento (en toneladas por hectárea).

11.8. Potencial y brechas de rendimiento de arroz de riego en las *buffers zones*

Para el cultivo de arroz de riego en Venezuela durante la temporada de lluvia, el potencial de rendimiento fue de 9.2 t/ha y la brecha fue del 50.4% del potencial, mientras que para la temporada seca, el potencial y la brecha fueron de 10.5 t/ha y 59.2% respectivamente. El potencial de rendimiento anual, es decir, sumando el potencial de la temporada de lluvias más seca, es de 19.7 t/ha (Figura 11.8.1).

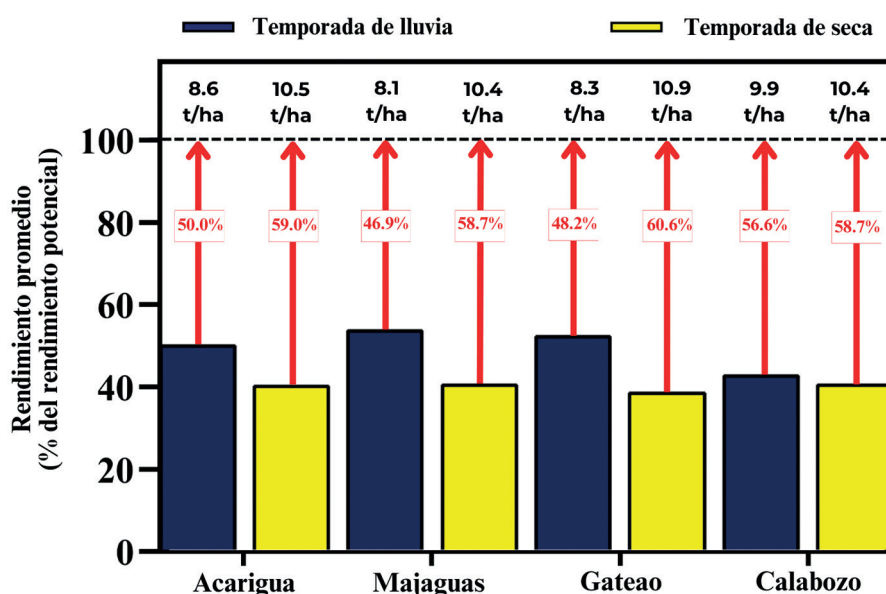


Figura 11.8.1. Potencial y brechas de rendimiento de arroz de riego en las cuatro buffers zones de las principales regiones productoras de arroz en Venezuela.

11.9. Rendimiento alcanzable del arroz en las *buffers zones*

Como todas las fincas evaluadas son irrigadas, consideramos alcanzable el 80% del potencial de rendimiento. Por lo tanto, la variación obtenida en la temporada de lluvia fue de 6.5 a 7.9 y en la temporada seca fue de 8.3 a 8.7 t/ha (Figura 11.9.1).

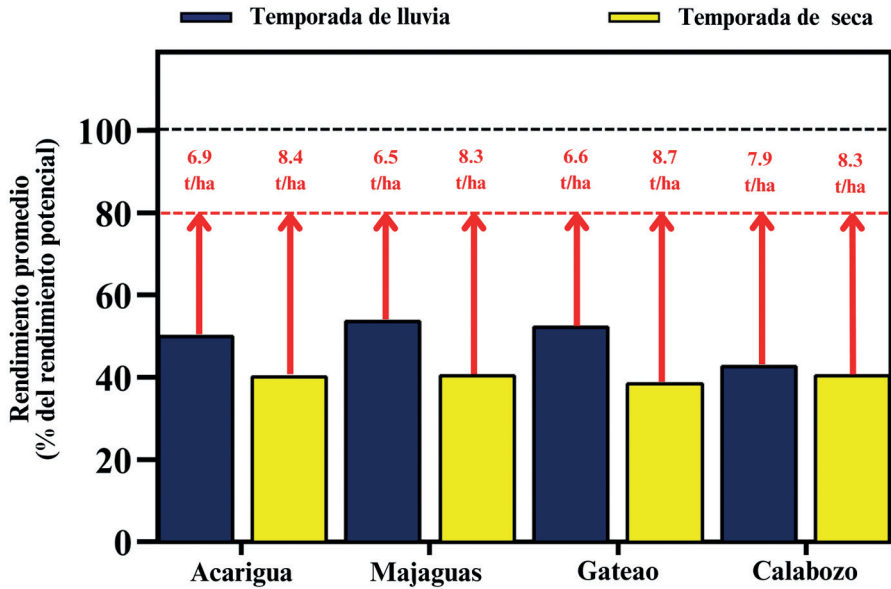


Figura 11.9.1. Rendimiento alcanzable y brechas de arroz en las cuatro *buffers zones* de las principales regiones productoras de arroz en Venezuela.

11.10. Rendimiento potencial y brechas de rendimiento del arroz en Venezuela

En promedio considerando el potencial anual del país (temporada lluviosa y seca) es posible aumentar en 3.5 t/ha el rendimiento de arroz en Venezuela. Si consideramos el promedio de área cultivada de arroz en los últimos 15 años (130 mil hectáreas), y asimismo, los productores lograr el potencial alcanzable (Pa), es posible producir un millón de toneladas de arroz (Figura 11.10.1). De ese modo, se evidencia que sería posible atender la demanda de arroz de los últimos años, solo con reducir la brecha de rendimiento existente.

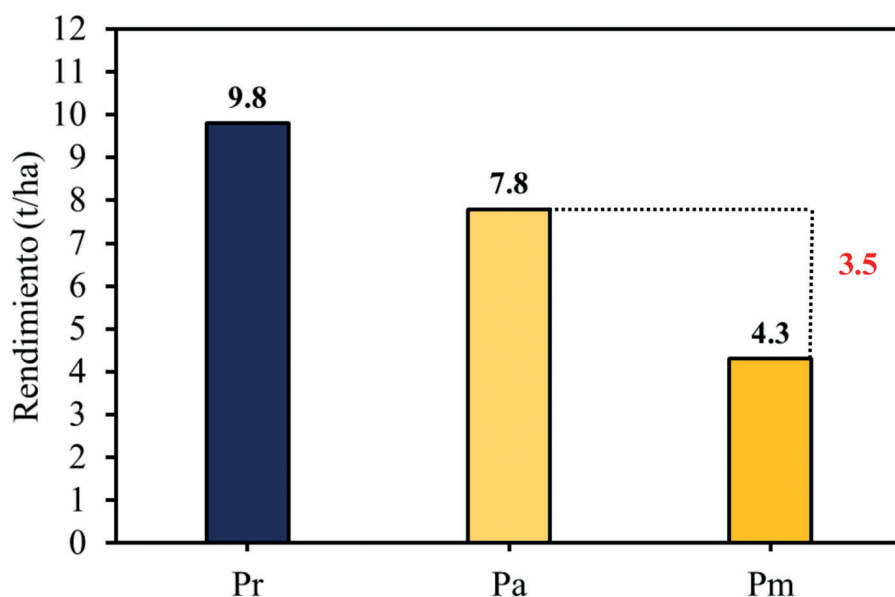


Figura 11.10.1. Potencial de rendimiento (Pr), Potencial alcanzable (Pa), Rendimiento medio (Pm) y las brechas de rendimiento que existen entre cada una de ella (en toneladas por hectárea).

11.11. Venezuela en la primera página de la producción de arroz a nivel mundial

Venezuela presenta una brecha de rendimiento muy próxima de Argentina y África Subsahariana (Figura 11.11.1). La brecha nos muestra que todavía se necesita avanzar en el desarrollo de la producción de arroz, al mismo tiempo que, se tiene una gran oportunidad sobre la mesa para llegar a la soberanía alimentaria en el país.

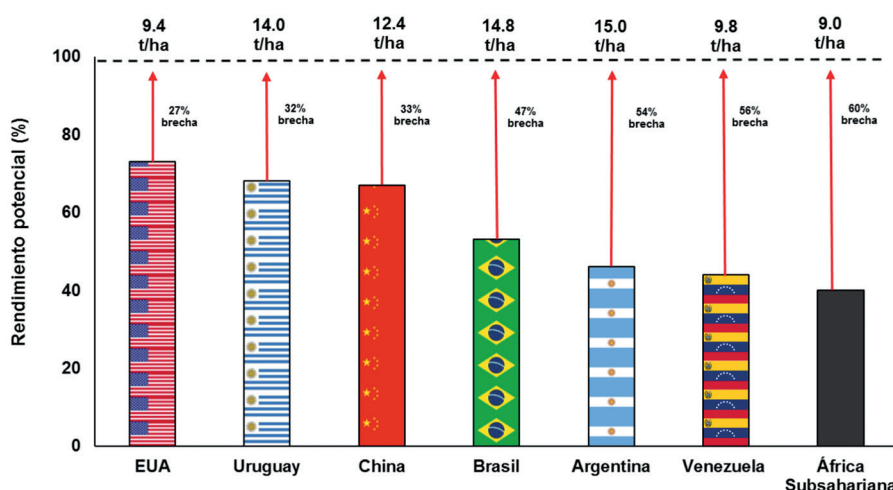


Figura 11.11.1. Potencial y brechas de rendimiento de arroz de los Estados Unidos (EUA), Uruguay, China, Brasil, Argentina, Venezuela y África Subsahariana.

Ahora que conocemos la brecha de rendimiento de arroz en Venezuela es fundamental entender cuáles son los factores que están provocando esa brecha. Y la forma mas robusta para identificar los factores de manejo que estan limitando las productividades, es el uso de datos de lotes de productores (Sadras et al., 2002, Lobell et al., 2005, Grassini et al., 2011a, Grassini et al., 2011b).

11.12. Manejo para altos rendimientos en el cultivo de arroz en Venezuela

Los 361 lotes monitorados durante los años de 2018 al 2024 en Venezuela, fueron divididos en tercios de acuerdo con el rendimiento indicado por los productores. Lotes del tercio superior fueron considerados lotes de altos rendimientos, ya los lotes del tercio inferior fueron considerados lotes de bajos rendimientos. Se realizaron testes estadísticos para identificar los manejos que difieren entre lotes de altos y bajos rendimientos (Tabla 11.12.1).

La tabla 11.12.1 muestra que, en la temporada de lluvia, los campos de alto rendimiento (AR) tuvieron rendimientos 41.5% mayores que los campos de bajos rendimientos, mientras que fueron sembrados más próximos al inicio de la fecha de siembra recomendada. Las tasas de fertilización de N y K_2O fueron 15 y 23% mayores, respectivamente, en los campos de alto rendimiento. El número de aplicaciones de herbicidas pre-siembra fue mayor en campos altos rendimientos, mientras el número de aplicaciones pos-emergentes fue mayor en campos de bajos rendimientos. Por último, se realizó mayor número de aplicaciones de fungicida e insecticida durante el ciclo en los campos de altos rendimientos.

En la temporada seca, el escenario fue semejante, el rendimiento de los campos de alto rendimiento fueron 44% mayores que de bajos rendimiento, la densidad de siembra para campos de altos rendimiento fue 5% menor. Además, la cantidad de N, P_2O_5 y K_2O aplicada fueron 12, 30 y 18% mayores, respectivamente, en campos de altos rendimientos.

Tabla 11.12.1. Comparación de las prácticas de manejo e insumos aplicados entre los tercios más altos (AR) y los tercios más bajos (BR) de rendimiento en 274 lotes de arroz irrigado en Venezuela. Los valores indican las diferencias medias (AR - BR) entre los tercios superior e inferior de rendimiento. Las medias son indicadas para cada variable en campo AR y BR. $p < 0.01$, $p < 0.05$, $p < 0.1$, $p > 0.1$ ns.

Variables	Temporada lluviosa			
	AR	BR	AR-BR	p-valor
Rendimiento (kg/ha)	7232.6	4230.7	3001.9	<0.0001
Fecha de Siembra (días después del 01/05)	16.4	35.9	-19.5	0.0075
Densidad de siembra (kg/ha)	102.7	104.6	-1.9	0.6008
Arcilla (%)	31.5	25.2	6.3	0.0006
N fertilizado (kg/ha)	178.0	151.6	26.4	<0.0001
P ₂ O ₅ fertilizado (kg/ha)	31.8	38.4	-6.6	0.6478
K ₂ O fertilizado (kg/ha)	81.8	63.2	18.6	0.0422
Aplicación de herbicida pre-siembra (n)	2.2	1.1	1.1	0.0131
Aplicación de herbicida pre-emergente(n)	2.1	1.7	0.4	0.4743
Aplicación de herbicida post-emergente (n)	1.8	2.9	-1.0	0.0341
Aplicación de fungicida (n)	1.9	0.5	1.4	<0.0001
Aplicación de insecticida (n)	2.6	1.1	1.5	<0.0001

Variables	Temporada seca			
	AR	BR	AR-BR	p-valor
Rendimiento (kg/ha)	8992.6	5024.2	3968.5	<0.0001
Fecha de Siembra (días después del 01/05 y 01/11)	36.2	35.8	0.5	0.8659
Densidad de siembra (kg/ha)	93.5	98.7	-5.2	<0.0001
Arcilla (%)	44.9	28.5	16.4	0.0057
N fertilizado (kg/ha)	202.3	180.4	21.9	0.0002
P ₂ O ₅ fertilizado (kg/ha)	59.2	41.6	17.6	<0.0001
K ₂ O fertilizado (kg/ha)	114.6	93.5	21.1	0.0055
Aplicación de herbicida pre-siembra (n)	1.6	1.4	0.2	0.5973
Aplicación de herbicida pre-emergente (n)	1.9	1.2	0.7	0.0912
Aplicación de herbicida post-emergente (n)	1.0	1.6	-0.6	0.1085
Aplicación de fungicida (n)	1.2	0.8	0.4	0.1520
Aplicación de insecticida (n)	1.6	1.8	-0.2	0.3187

Después de identificar las prácticas de manejo que difieren entre los lotes de altos y bajos rendimientos, fue construido el diagrama denominado árbol de regresión (Figura 11.12.2a-b). El árbol de regresión posibilita un análisis jerárquico de los

factores que construyen los altos rendimientos. En el análisis, identificamos que los principales factores que posibilitan altos rendimientos en lotes de arroz en Venezuela son: método de siembra, nitrógeno y densidad de siembra aplicado para la temporada de lluvia, en cuantos los factores para la temporada seca son: sistema de producción y potasio.

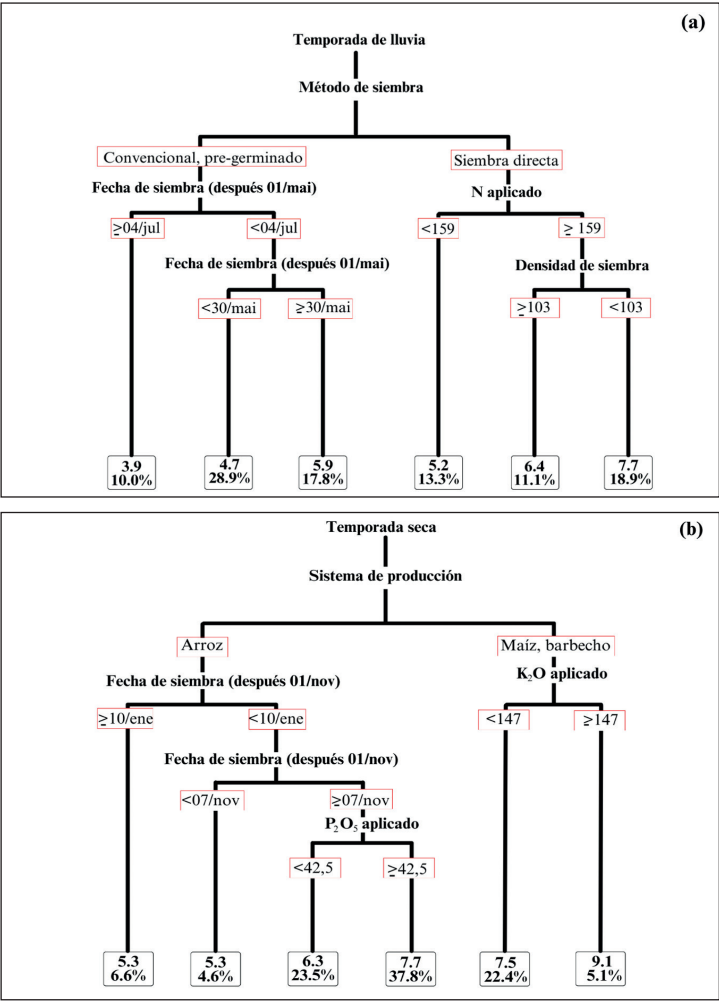


Figura 11.12.2. Árbol de regresión (a) temporada de lluvia y (b) temporada seca mostrando fuentes de variación en los rendimientos de arroz irrigado debido a factores de manejo. Los valores dentro de cada nudo terminal indican la productividad media de granos (t/ha) y el porcentaje de observaciones en cada nudo terminal.

Después de la identificación de las principales prácticas de manejo que difieren entre los lotes que están obteniendo altos y bajos rendimientos, se evaluó de forma individual cada uno de los factores.

El orden de los resultados presentados es de acuerdo con los factores que definen, limitan, y reducen el potencial de rendimiento. Dentro de esos tres grupos, los manejos para altos rendimientos serán presentados lo más próximo posible del orden cronológico en que ocurren dentro del lote.



Para siembras en la temporada de lluvia, los máximos rendimientos (8.6 t/ha) fueron encontradas en siembras hasta el 06/06 (Figura 11.12.3a). Un atraso en la fecha de siembra después del 06/06 resultó en una pérdida de 97 kg/ha/día. Ya para las siembras en la temporada seca, los máximos rendimientos (9.9 t/ha) fueron encontradas en siembras hasta el 21/12 (Figura 11.12.3b). El atraso en la fecha de siembra después del 21/12 resultó en la pérdida de 99 kg/ha/día.

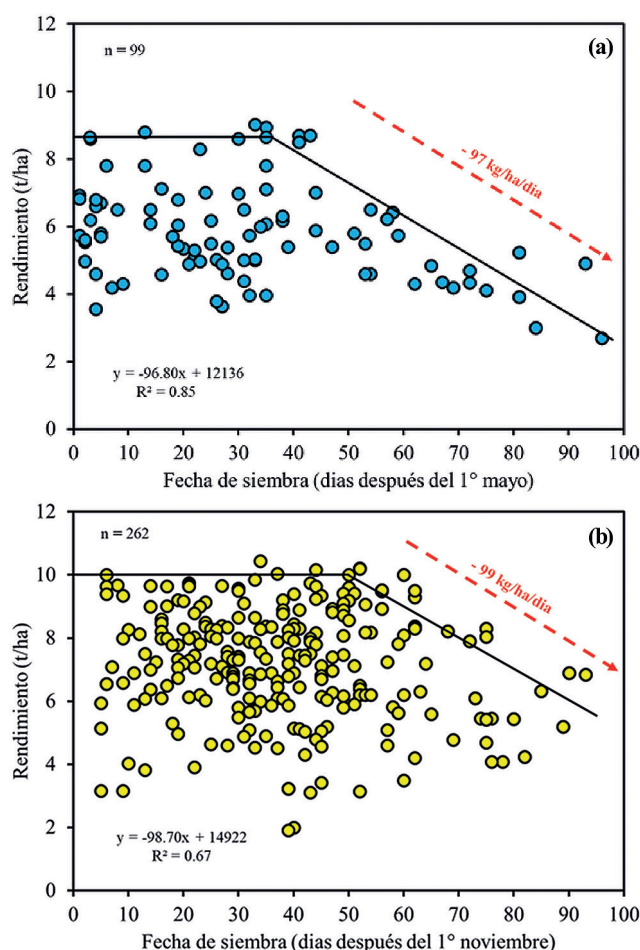


Figura 11.12.3. Rendimiento de arroz irrigado en relación con la fecha de siembra en Venezuela: (a) en la temporada lluviosa (círculos azules) y (b) para siembra en la temporada seca (círculos amarillos). Cada círculo representa un lote de arroz irrigado en Venezuela. La línea negra sólida corresponde la función límite.

El uso de tratamiento de semillas en cultivo, para la temporada de lluvia tuvo diferencia significativa (Figura 11.12.4a-b), visto que es un período con alta humedad, proporcionando un ambiente favorable al desarrollo de enfermedades (hospedero susceptible, patógeno agresivo y ambiente favorable) (Kimati et al., 2011).

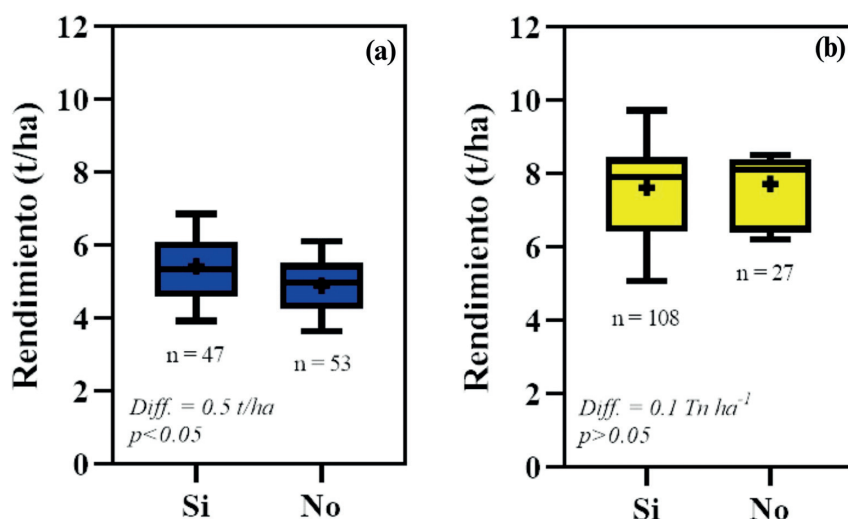


Figura 11.12.4. Box plots para analizar la relación entre el uso de tratamiento de semillas y lo rendimiento ya temporada de lluvia y (a) temporada seca (b). Las cajas delimitan los porcentajes 25 y 75, mientras los bigotes representan el limite de 90 y 10 porciento y la línea horizontal representa la mediana. $p > 0.05$ ns; $p < 0.05$ 5% de significancia; $p < 0.01$ 1% de significancia.

La rotación de cultivos es la principal práctica de manejo que afecta el rendimiento de granos en la temporada seca, donde, en media, el cultivo de arroz continuó redujo el rendimiento un 29.7% (Figura 11.12.5a-b). La misma tendencia fue observada en Argentina donde arroz sobre arroz redujo el rendimiento en 16.4% (Meus et al., 2023). El maíz en el sistema de producción venezolano es más difundido que la soya en la temporada de lluvia, donde la rotación de arroz con maíz aumentó el rendimiento del arroz en la temporada seca en un 33.7%.

De igual manera, la rotación con soya en Brasil aumentó el rendimiento de granos de arroz irrigado un 20% (Ribas et al.,

2021). En ambos casos, la rotación de arroz con maíz o soya, proporcionan la rotación de principios activos de herbicidas que auxilian en la reducción del banco de semillas de arroz rojo del suelo (Silva et al., 2021).

El período de barbecho del suelo durante la temporada seca beneficio para el aumento de rendimiento de arroz.

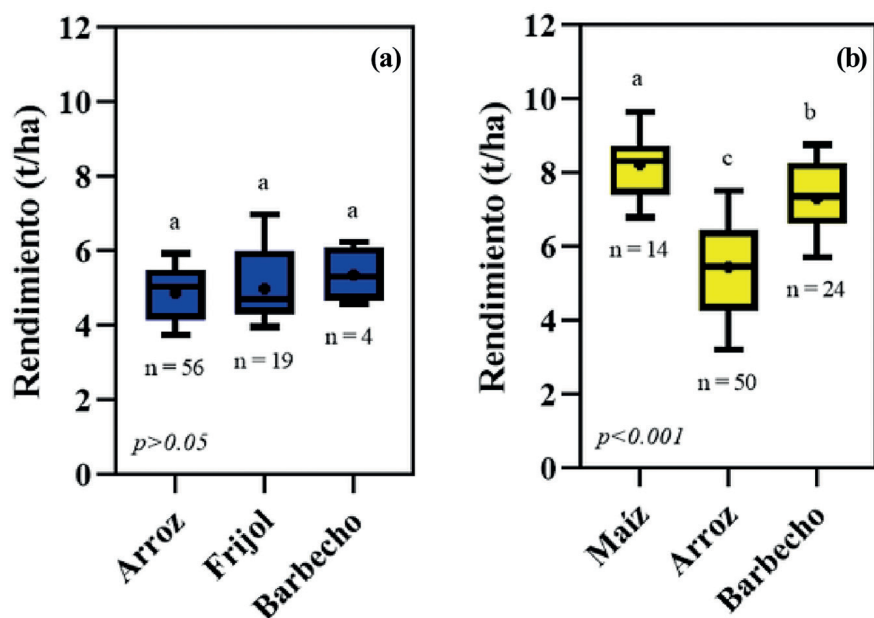


Figura 11.12.5. Box plots para analizar la relación entre los sistemas de producción y el rendimiento ya en temporada de lluvia (a) y temporada seca (b). Las cajas delimitan los porcentajes 25 y 75, mientras los bigotes representan el límite de 90 y 10 por ciento y la línea horizontal representa la mediana. ($p > 0.05$ ns; $p < 0.05$ 5% de significancia; $p < 0.01$ 1% de significancia).

En la temporada de lluvia, la siembra directa (preparación con menor revolvimiento de suelo) sobresalió (Figura 11.12.6a), lo contrario ocurrió en la temporada seca, donde el cultivo convencional alcanzó mayores rendimientos (Figura 11.12.6b).

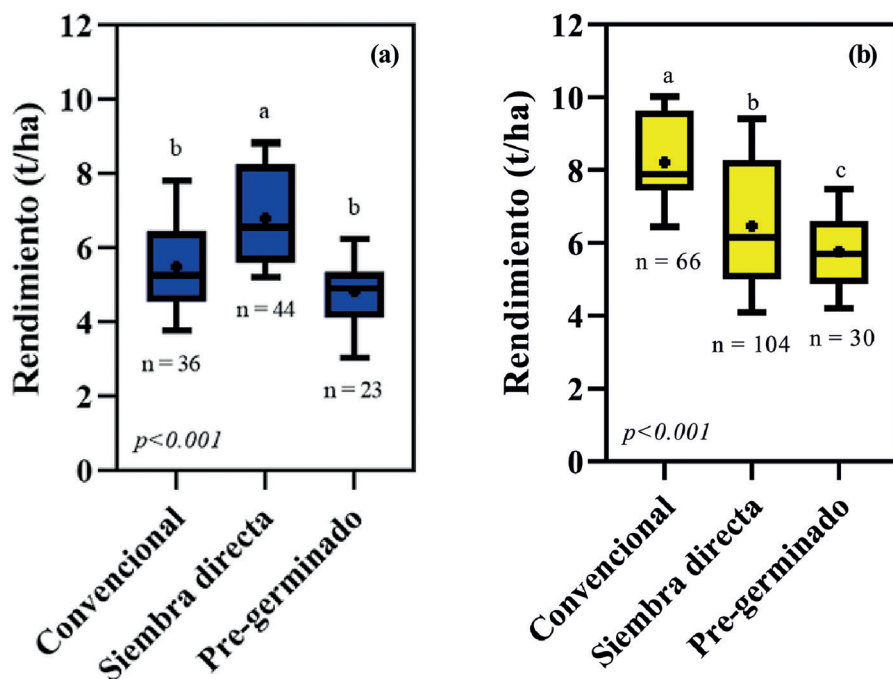


Figura 11.12.6. Box plots para analizar la relación entre el método de siembra y lo rendimiento ya temporada de lluvia (a) y temporada seca (b). Las cajas delimitan los porcentajes 25 y 75, mientras los bigotes representan el límite de 90 y 10 por ciento y la línea horizontal representa la mediana. ($p > 0.05$ ns; $p < 0.05$ 5% de significancia; $p < 0.01$ 1% de significancia).

La densidad de siembra ideal determinada para la temporada seca es 97 kg/ha, mientras que para la temporada de lluvia es 93 kg/ha (Figura 11.12.7a-b). Observe que existe un rango ideal entre 90 y 100 kg/ha de semillas, donde el 32% de las fincas están por debajo de estos valores ideales, y en contraparte, un 39% de las fincas están por encima, en miras de altos rendimientos y disminución de costos de producción, este es uno de los manejos a ser ajustado.

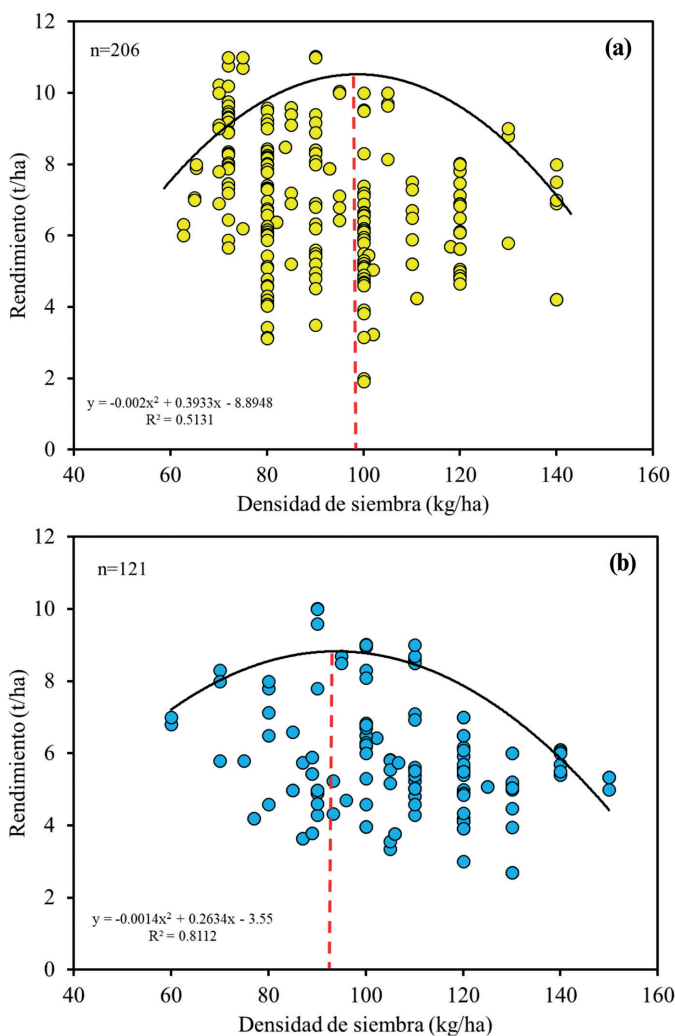
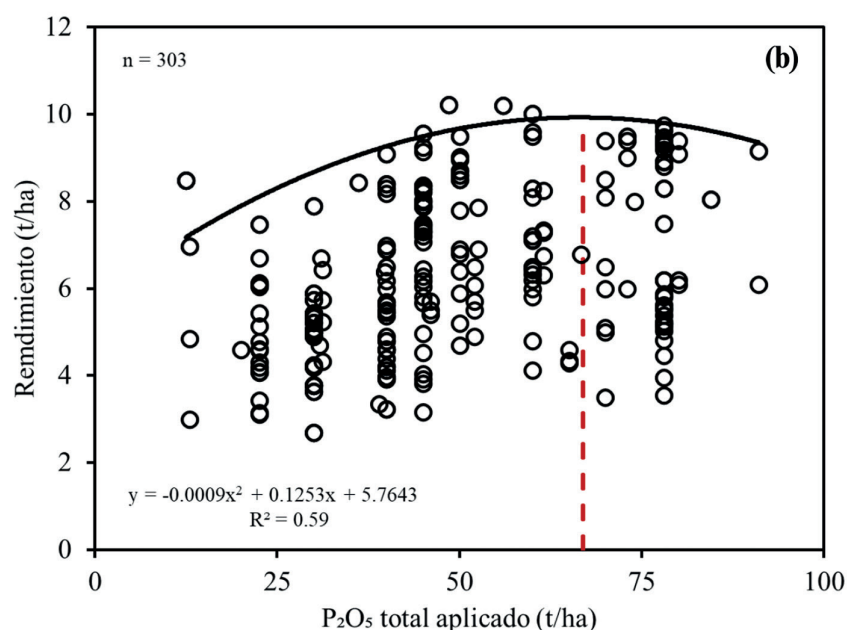
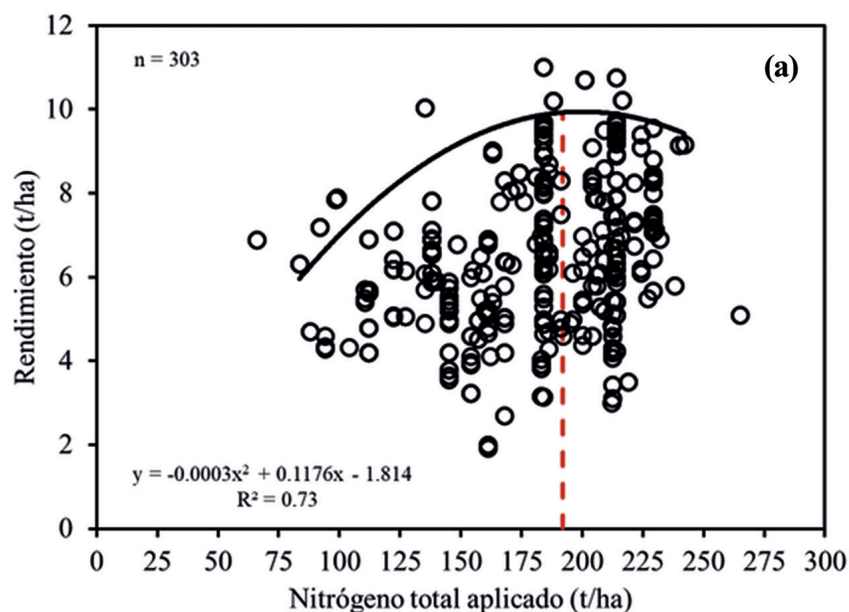


Figura 11.12.7. Relación entre el rendimiento de arroz irrigado y la densidad de siembra en kg/ha. (a) Densidad de siembra ideal para temporada seca. (b) Densidad de siembra ideal para temporada de lluvia. La línea sólida indica la función límite y la línea vertical trazada indica el punto de máxima eficiencia técnica.

El nitrógeno (N), promueve el crecimiento y perfilamiento, determinando el número de panículas por hectárea, uno de los más importantes componentes de rendimiento del arroz (Yang, 2015). Utilizando datos de 298 lotes, se encontró que 192 kg de N/ha es el valor de máxima eficiencia técnica que maximiza los rendimientos de arroz en Venezuela (Figura 11.12.8a). Situación

semejante ocurre con el potasio (K). El valor de máxima eficiencia técnica para fertilización fosfatada es de 67 kg de P_2O_5 /ha (Figura 11.12.8b). Ya para potasio, 123 kg de K_2O /ha (Figura 11.12.8c).



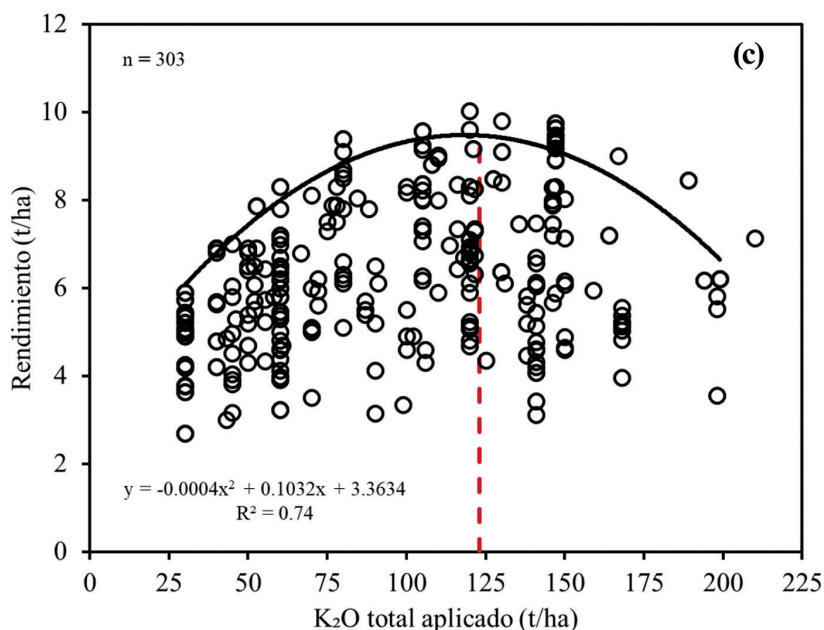


Figura 11.12.8. Relación entre el rendimiento de arroz irrigado y fertilización de N, P_2O_5 y K_2O en Venezuela. (a) Nitrógeno total aplicado en relación al rendimiento. (b) P_2O_5 total aplicado en relación a lo rendimiento (c) K_2O total aplicado en relación al rendimiento. La n indica el número de lotes evaluados. La línea negra sólida indica la función límite y la línea vertical trazada en rojo indica el punto de máxima eficiencia técnica.

El intervalo de valores ideales de la eficiencia en el uso de N, P y K propuesto por Devkota (2019) son, de 40 a 80 kg de grano por kg de N aplicado, 150 a 350 kg de grano por kg de P aplicado y 70 a 200 kg de grano por kg de K aplicado. Valores de eficiencia superiores a los intervalos anteriormente descritos, indican baja aplicación, por lo tanto, indica mineralización de los nutrientes de suelo y valores de eficiencia inferiores al valor límite del intervalo, indican alta aplicación, por lo tanto, desperdicio. A través de eso, más del 70% de los lotes en la temporada de lluvia y más de 60% en la temporada seca están aplicando cantidades elevadas de N y presentando baja eficiencia (Figura 11.12.9a). De la misma forma, aproximadamente 40% de los lotes en la temporada de lluvia y 73% de los lotes en la temporada seca extraen el nutriente P del suelo (Figura 11.12.9b).

El alto valor de la eficiencia de P empuja el bigote para arriba, significa que algunos lotes tenían valores de eficiencia en este nutriente demasiado elevados, lo que puede explicar que parte de los lotes está extrayendo el nutriente P del suelo. Finalmente, 12.8% de los lotes en la temporada de lluvia y 6.2% en la temporada seca están extrayendo K del suelo, mientras 21.6% en la temporada de lluvia y 25.8% en la temporada seca están dejando K en el suelo (Figura 11.12.9c).

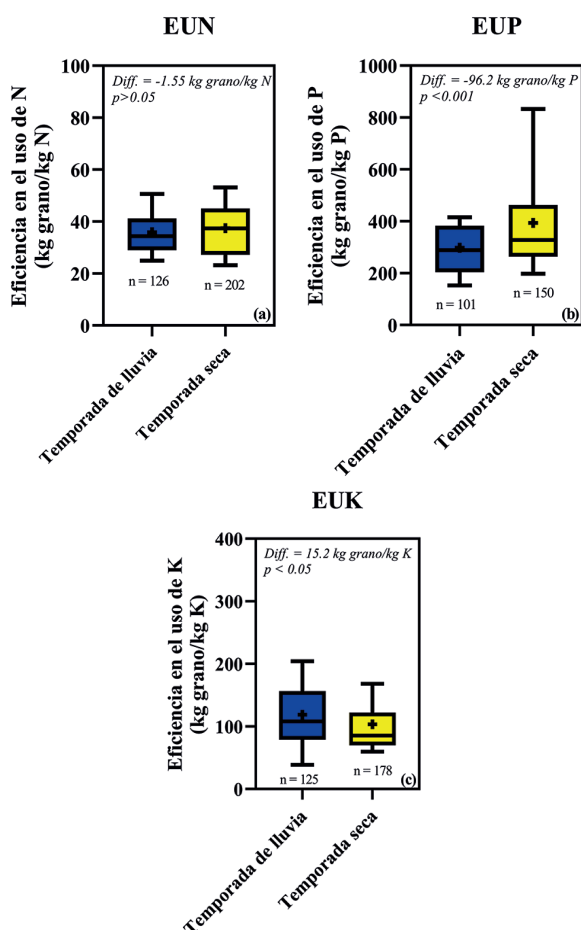


Figura 11.12.9. Eficiencia en el uso de nutrientes en el cultivo de arroz de riego para la temporada de lluvia y temporada seca en Venezuela. (a) Eficiencia en el uso de N (EUN), (b) eficiencia en el uso de P (EUP), (c) eficiencia en el uso de K (EUK). Las cajas delimitan los porcentajes 25 y 75, mientras los bigotes representan el limite de 90 y 10 porciento y la línea horizontal representa la mediana.

La eficiencia del uso de nitrógeno puede ser mejorada con la adopción de buenas prácticas de manejo, como entrar con riego luego de la aplicación de nitrógeno. En la literatura, los valores promedio para la producción de 1 tonelada de granos de arroz son 14.8 kg de N, 3.8 kg de P y 15 kg de K por hectárea (Xu et al., 2015).

11.13. Reducir la inseguridad alimentaria de arroz en Venezuela mediante la intensificación agrícola

Buscando identificar la cantidad de arroz que puede ser producida en Venezuela para 2040, se analizaron 3 posibles escenarios: 1) Tendencias normales de producción (NPT) donde se utilizó la tendencia de producción y área promedio de los últimos 15 años (2009-2023); 2) Tendencia normal de rendimiento e incremento en el área (NIA), se obtuvo siguiendo la tendencia de rendimiento promedio, pero utilizando el valor máximo de área que ya se sembró de arroz en Venezuela (230 mil hectáreas), y, por último, 3) Intensificación del sistema mediante la reducción de las brechas de rendimiento (INT), donde en este último escenario se asume una inversión masiva en programas de investigación y desarrollo agrícola, cerrando la brecha de rendimiento y alcanzando el 80% del potencial de rendimiento, y de la mano con un incremento del área sembrada de arroz, al igual que en el escenario NIA (de 95 a 230 mil hectáreas). Estos escenarios fueron evaluados comparando su capacidad para satisfacer la demanda de arroz en Venezuela, considerando que la demanda promedio de 2009 a 2023 fue de 1.200.000 toneladas/año (FAOSTAT, 2024).

Siguiendo la tendencia natural de rendimiento y área de producción de arroz (NPT) (11.12.1), se prevé una disminución de la orizicultura en Venezuela, donde para 2033 la producción sería nula en caso de continuar con la misma tendencia de los últimos 15 años. Por otra parte, utilizando el área potencial para la siembra de arroz y manteniendo los niveles actuales de rendimiento, sería posible obtener un incremento del 129% en la producción de arroz (NIA); sin embargo, no sería suficiente para satisfacer la demanda del país en 2040. Por último, en el escenario de intensi-

ficación (INT), al reducir las brechas de rendimiento y sembrando el área potencial, se prevé que para 2032 Venezuela alcanzaría la autosuficiencia alimentaria de arroz y podría producir excedentes hasta 2040.

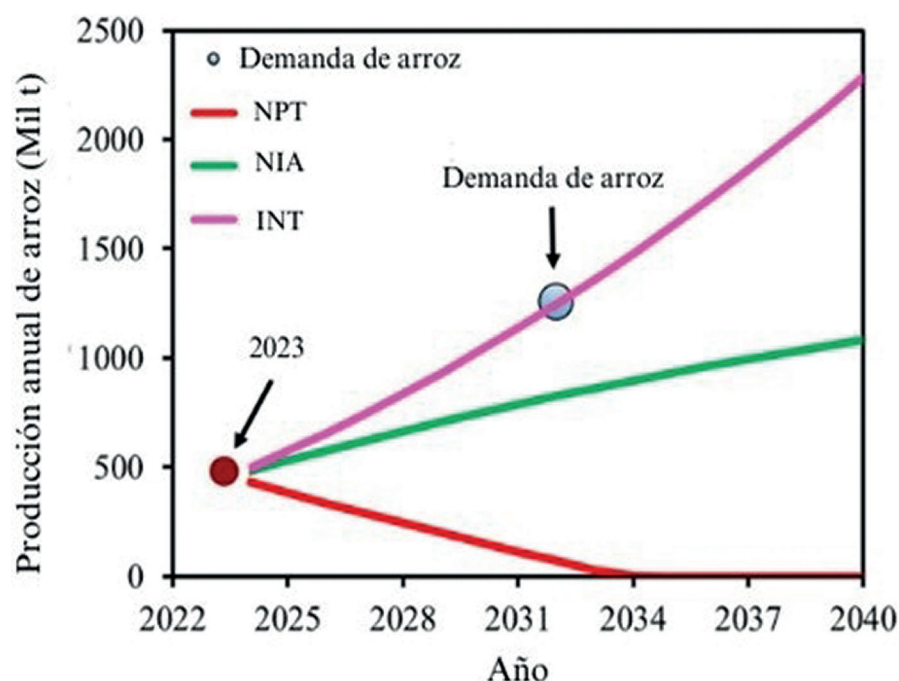


Figura 11.12.1 Cambios en la producción de arroz con diferentes escenarios: Tendencias normales de producción (NPT), Tendencia normal de rendimiento e incremento en el área (NIA), Intensificación del sistema de producción a través de la reducción de la brecha de rendimiento (INT).

Nuestros resultados muestran que el camino hacia la autosuficiencia alimentaria de arroz en Venezuela debe trazarse a través de la intensificación de la producción, es decir, volver a sembrar el área que fue cultivada en Venezuela en el período de 2014 (230 mil ha), y construir un programa de transferencia de conocimiento que permita que la información generada en este proyecto llegue a la mayoría de los productores, permitiendo así que todos puedan producir el rendimiento explotable (80% del potencial de rendimiento).

A close-up photograph of a rice panicle in the foreground, showing the individual grains. The background is a vast field of rice plants under a blue sky with scattered white clouds.

12. Intensidad de emisión de CO₂ en arroz

En la agricultura, la intensidad de emisión de carbono es un concepto que hace referencia a la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por unidad de producto agrícola o por unidad de superficie cultivada. Estos gases que incluyen dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), se liberan en diferentes etapas del proceso de producción agrícola, y tienen un impacto significativo en el cambio climático global. Medir la intensidad de las emisiones de carbono permite evaluar el impacto ambiental de las actividades agrícolas, lo cual es crucial para desarrollar estrategias que mitiguen el calentamiento global.

Entre los principales factores que influyen se encuentran las emisiones directas e indirectas, asociadas al uso de fertilizantes, el manejo del suelo y el uso de combustibles fósiles en las operaciones agrícolas. En la siguiente ecuación es posible ver como se calcula la intensidad de emisión de CO₂ (IECO₂) en la agricultura:

$$\text{IECO}_2 = \frac{\text{Emisión total de GEI (en CO}_2\text{eq)}}{\text{Rendimiento (kg/ha)}}$$

El resultado se expresa en kg de CO₂ emitidos por kg de granos producidos de un determinado cultivo, y cuanto menor sea la intensidad, menor será el impacto ambiental. Reducir la intensidad de las emisiones de carbono en la agricultura es esencial para lograr los objetivos globales de mitigación del cambio climático. El desarrollo de tecnologías agrícolas bajas en carbono y el fomento de prácticas regenerativas pueden contribuir a un sector agrícola más sostenible. Medir y monitorear la intensidad de las emisiones de carbono permite a los productores y formuladores de políticas identificar áreas de mejora e implementar estrategias de mitigación efectivas. Al adoptar prácticas agrícolas más sostenibles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la agricultura puede desempeñar un papel crucial en la lucha contra el cambio climático, y la promoción de la seguridad alimentaria mundial.

Las emisiones totales de estos factores estuvieron relacionadas con la eficiencia productiva de los cultivos. La eficiencia productiva se caracteriza por el rendimiento promedio en función del potencial de rendimiento, es decir, cuánto se está produciendo del cultivo en relación con el máximo que se puede producir en ese ambiente. De esta manera, es posible relacionar cuánto CO₂ eq. se emite para producir un kilogramo de granos de arroz, considerando solo los factores mencionados anteriormente (Figura 12.1).

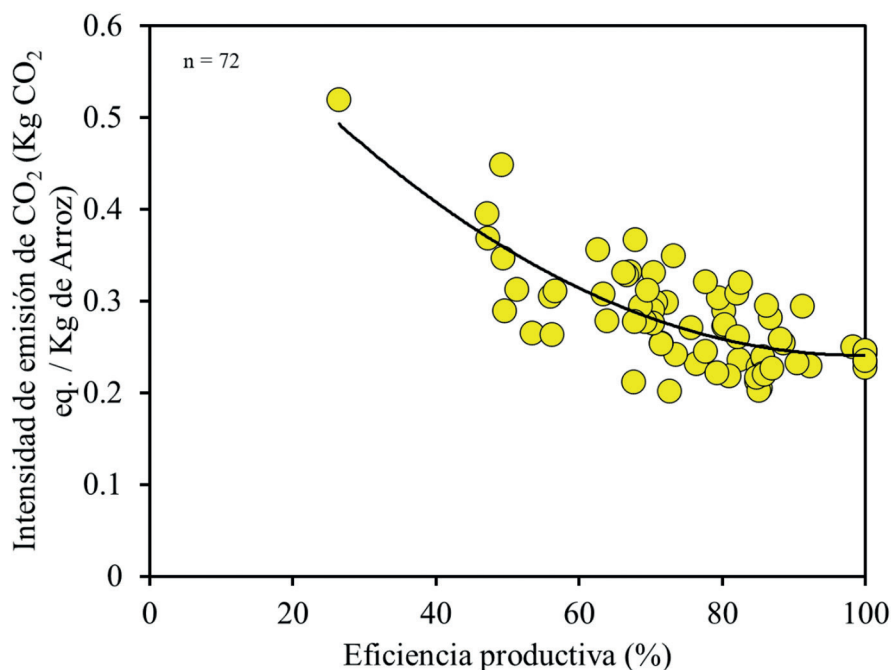


Figura 12.1. Intensidad de emisión de CO₂ eq., considerando semillas, fertilizantes, combustible y productos fitosanitarios.

Se observa que, cuanto más se acerca el productor al potencial de rendimiento que ofrece el medio ambiente, menor es la intensidad de las emisiones de CO₂. Esto demuestra la importancia de buscar cada vez más mejorar y ajustar la gestión con miras a aumentar los rendimientos, en una misma hectárea cultivable, con el fin de aumentar la disponibilidad de alimentos y la sostenibilidad de la agricultura.

En la Figura 12.2 es posible verificar las principales variables que provocan mayores emisiones de CO₂ equivalente en los cultivos de arroz en Venezuela. El diésel y el nitrógeno representan el 81% de las emisiones, siendo esenciales para el cultivo del arroz. La optimización y uso eficiente de los insumos es fundamental para el manejo del cultivo.

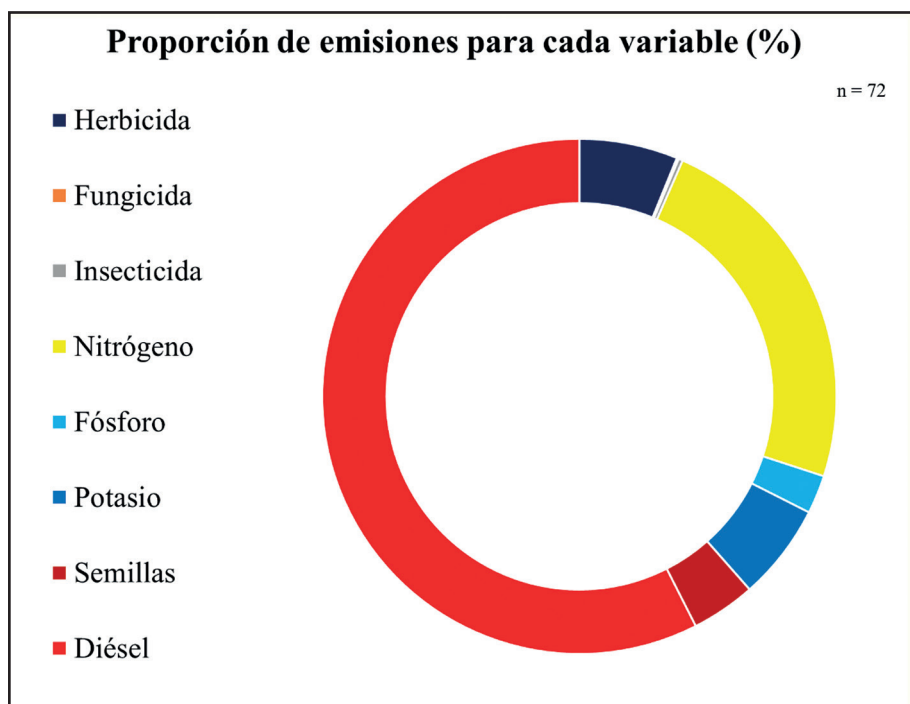
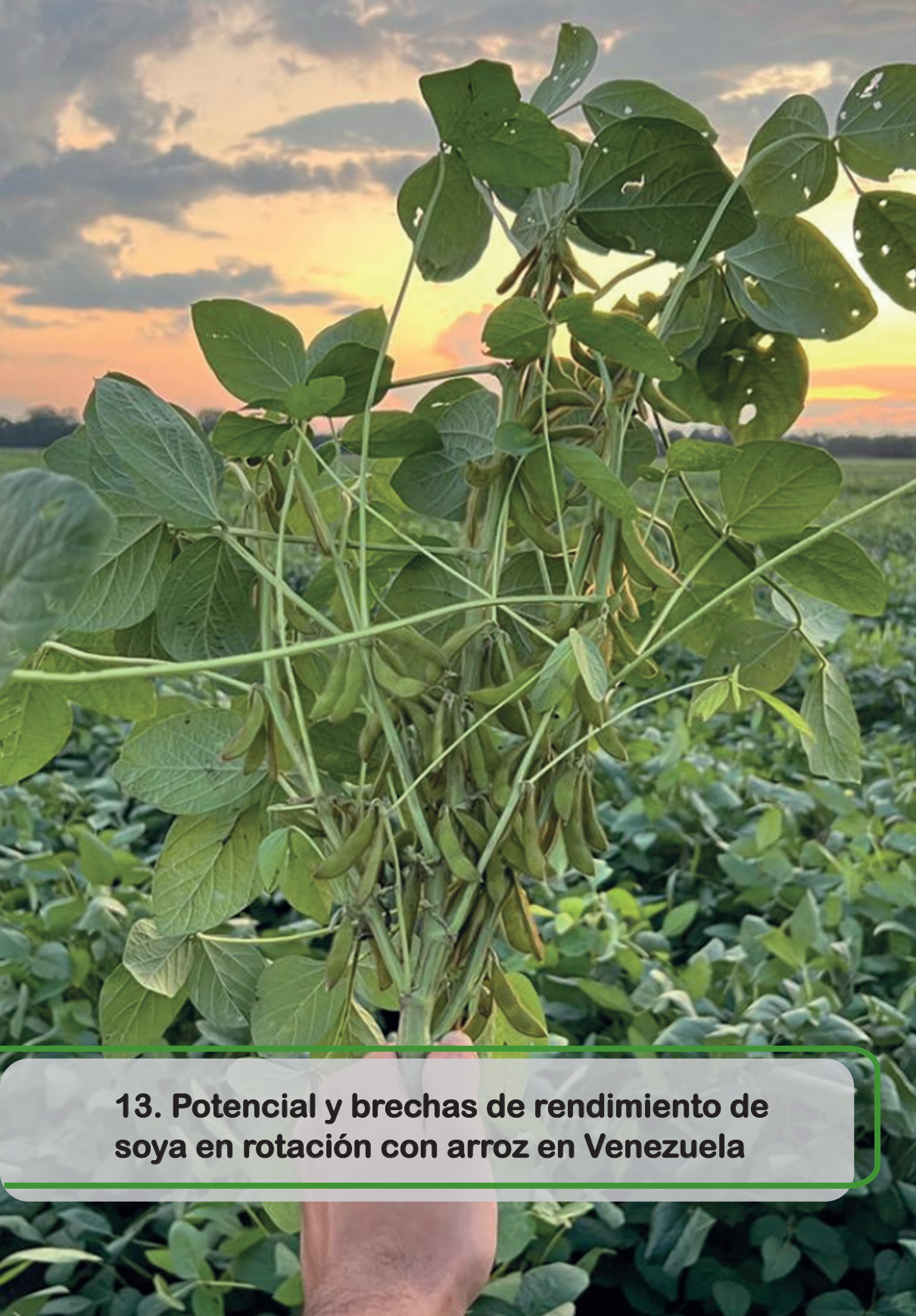


Figura 12.2. Proporción de emisión media de CO₂ eq., considerando semillas, fertilizantes, combustible y productos fitosanitarios.



13. Potencial y brechas de rendimiento de soya en rotación con arroz en Venezuela

13.1. Potencial de rendimiento y potencial de rendimiento de secano de la soya en rotación con arroz en Venezuela - Temporada de lluvia

No hubo diferencia entre el rendimiento potencial y el rendimiento de secano en las *buffer zones* para la soya sembrada a mediados de mayo. El mayor potencial de soya se observó en la *buffer zone* de Calabozo, con un promedio de 5.9 t/ha (Figura 13.1.1). Le siguen los *buffers* Gateao, Majaguas y Acarigua con 5.8, 5.7 y 5.7 t/ha, respectivamente.

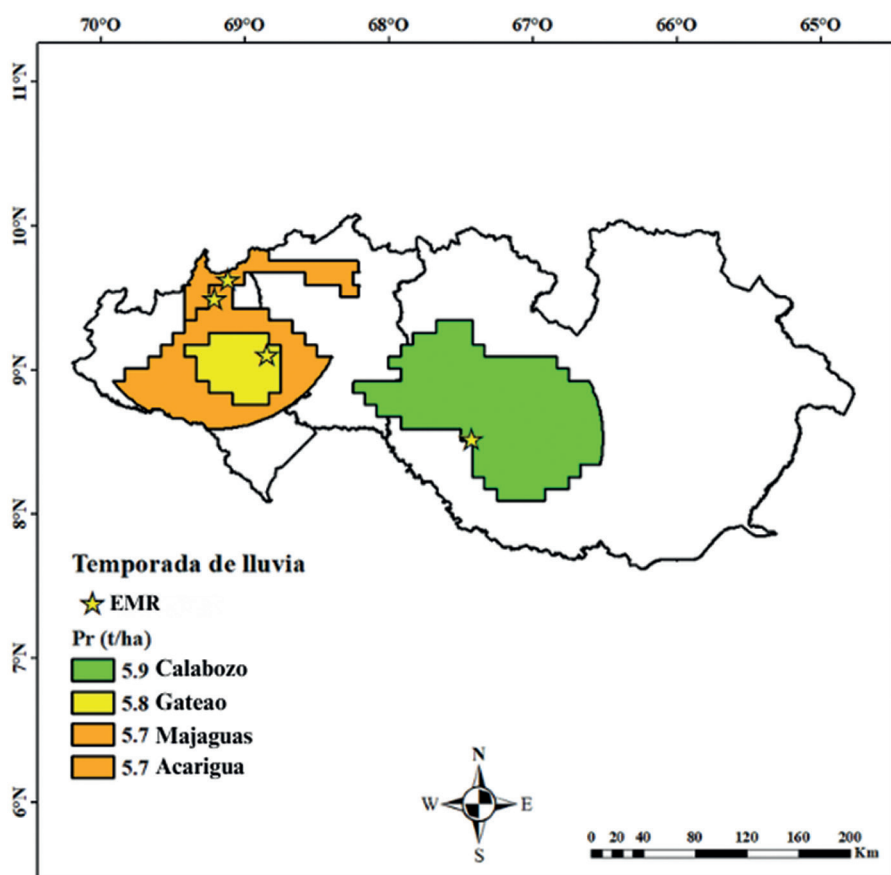


Figura 13.1.1. Potencial de rendimiento (Pr) y potencial de rendimiento de secano (Prs) de la soya en rotación con arroz en Venezuela (en toneladas por hectárea).

13.2. El potencial de rendimiento alcanzable de la soya en rotación con arroz en Venezuela - Temporada de lluvia

El potencial alcanzable de soya osciló entre 4.5 y 4.7 t/ha (Figura 13.2.1).

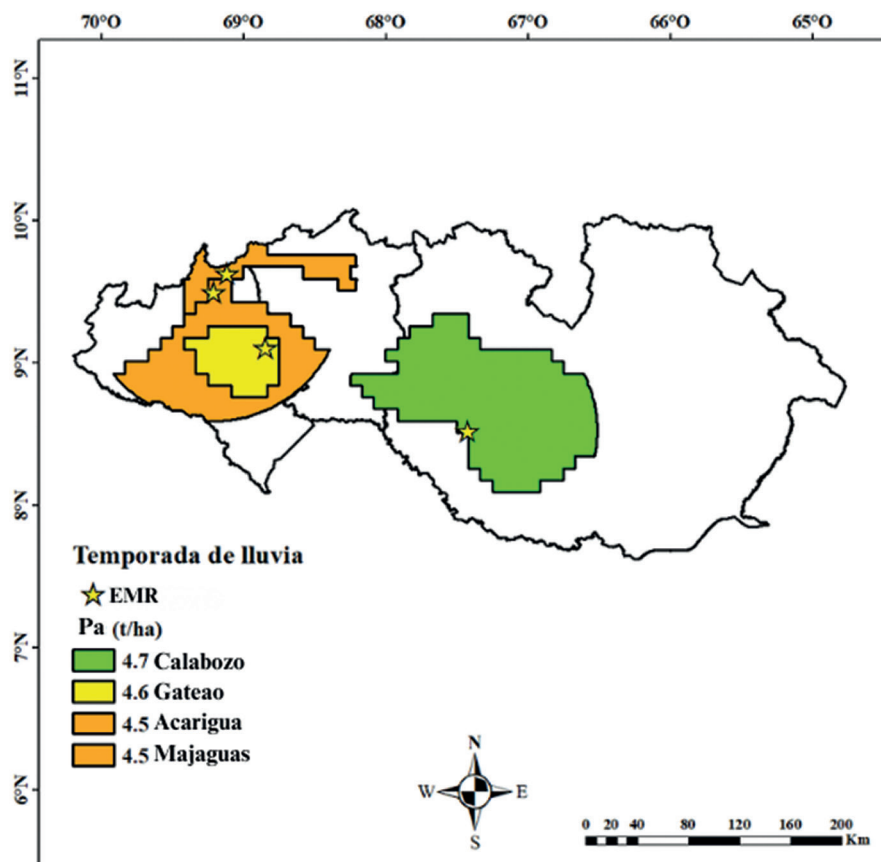


Figura 13.2.1. Rendimiento alcanzable (Pa) de la soya en rotación con arroz en Venezuela (en toneladas por hectárea).

13.3. Rendimiento promedio de la soya en rotación con arroz en Venezuela - Temporada de Lluvia

Realizando un análisis de los datos de rendimiento de FEDEAGRO y FAO, se observó una correlación óptima entre las dos fuentes de datos con RSME de 0.1 t/ha (Figura 13.3.1). Considerando los datos promedio de las últimas cinco cosechas (2018 - 2022) de la FEDEAGRO, el rendimiento promedio de la soya se ubicó en alrededor de 1.4 t/ha. Debido a la dificultad para encontrar datos de rendimiento promedio para cada *buffer*, se utilizó el rendimiento promedio del país para todos Calabozo, Acarigua, Majaguas y Gateao.

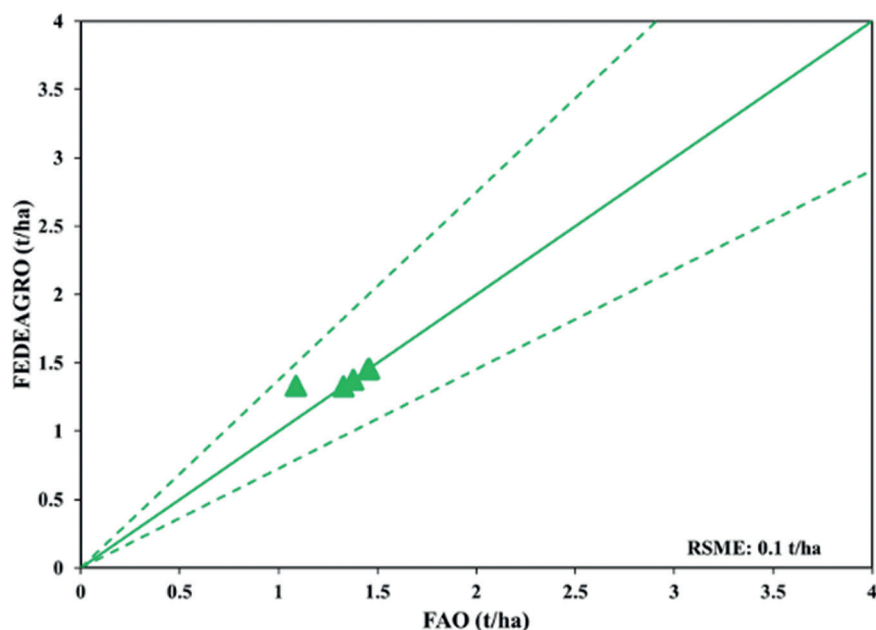


Figura 13.3.1. Rendimiento simulado y observado de soya por FEDEAGRO y FAO en Venezuela. La línea verde continua representa $y = x$ las líneas verdes discontinuas representan una desviación de $\pm 20\%$ de la línea $y = x$. RMSE = raíz del error cuadrático medio.

13.4. Brecha de rendimiento alcanzable de la soya en rotación con arroz en Venezuela - Temporada de lluvia

La brecha de rendimiento fue determinada por la diferencia entre el potencial de rendimiento alcanzable y el rendimiento promedio ($P_a - P_m$). Las brechas de rendimiento de soya oscilaron entre 3.1 y 3.3 t/ha para las cuatro *buffer zone* (Figura 13.4.1). La mayor brecha está en Calabozo, donde es posible incrementar casi 3.3 toneladas de soya. Para Acarigua, Majaguas y Gateao es posible aumentar la producción en 3.1 y 3.2 t/ha, esto nos quiere decir que es posible incrementar hasta 3 veces la producción de soya en una misma hectárea cultivada en el país, siendo el manejo del cultivo el principal motivo que genera la brecha, ya que las precipitaciones son suficientes para cubrir toda la demanda de la planta cuando se siembra en el mes de mayo.

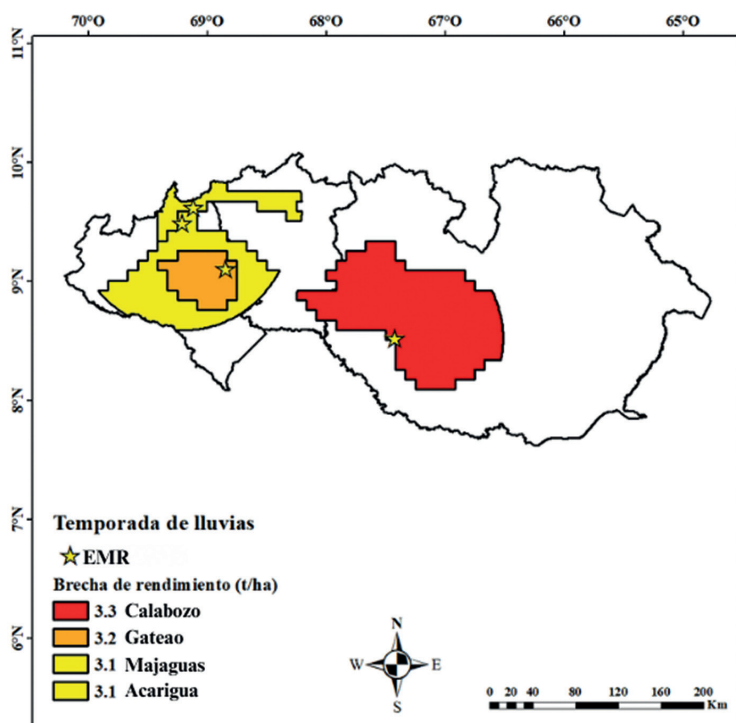


Figura 13.4.1. Brecha en el rendimiento de la soya en rotación con arroz en Venezuela. Las *buffer zones* coloreadas representan la brecha de rendimiento (en toneladas por hectárea).

13.5. Potencial y brechas de rendimiento de la soya en rotación con el arroz en Venezuela

La soya en Venezuela para la temporada de lluvia, presenta un potencial de rendimiento de 5.8 t/ha y la brecha actual del 75.5% del potencial (Figura 13.5.1). Al presentar esta alta brecha asociada al bajo nivel tecnológico que se tiene en Venezuela para este cultivo, las oportunidades de mejora buscando altos rendimientos son grandes.

Conforme estudios realizados lo ideal es alcanzar el 80% del potencial de rendimiento, más allá de ello la inversión que sea realizada no se traduce en ganancias significativas. De esta forma, calculamos las brechas en relación con el potencial alcanzable (80%). Concluyendo de esta manera que: el potencial de soya en rotación con arroz es de 4.7 t/ha y la brecha entre el rendimiento actual y dicho potencial representa el 69.4%. Por último, se puede decir que en Venezuela es posible incrementar 3.3 t/ha de soya de la producción actual.

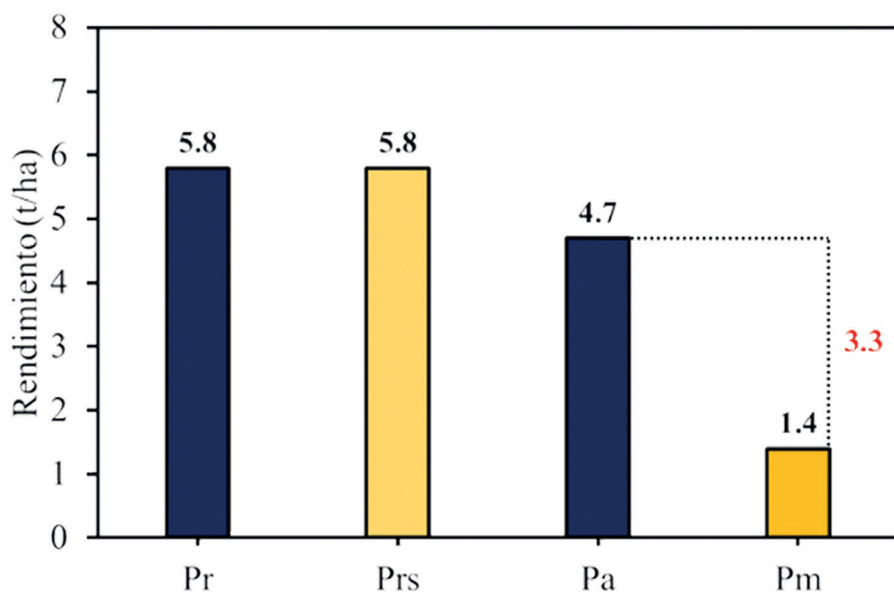


Figura 13.5.1. Potencial y brechas de rendimiento de la soya en rotación con arroz en Venezuela.

13.6. Manejo para altos rendimientos en el cultivo de soya en rotación con arroz en Venezuela: Estudio de caso en fincas de productores de arroz

Entre 2023 y 2024 fueron sembrados 27 lotes con soya, 11 en 2023 y 16 en 2024 en las principales regiones productoras de arroz en Venezuela. En la figura 13.6.1 podemos ver la ubicación de lotes con soya en zonas arroceras.

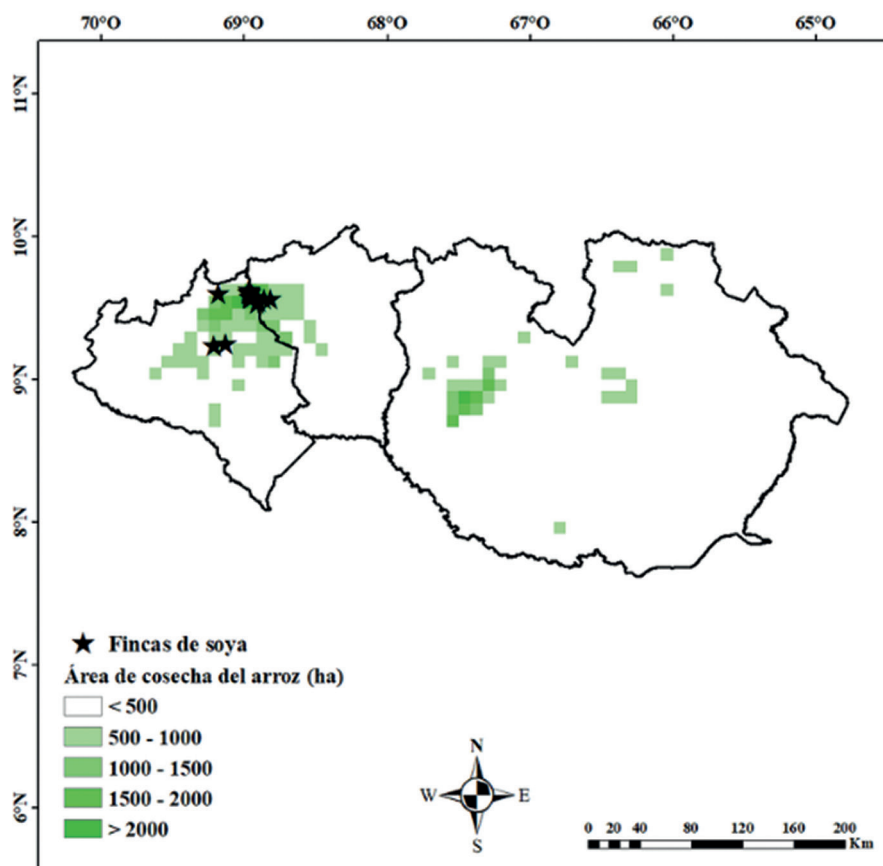


Figura 13.6.1. Ubicación de los lotes de soja estrellas negras, área de cosecha de arroz píxeles verdes.

En la Tabla 13.6.1 se observan resultados del primer año de siembra (2023), destacando productor, finca, estado, así como, rendimiento y los principales factores que limitaron los rendimientos del cultivo de soya.

Tabla 13.6.1. Productor, finca, Estado, área sembrada, época de siembra, rendimiento y factor limitante para el cultivo de soya en 2023.

Productor	Finca	Estado	Área sembrada	Fecha de siembra	Rendimiento	Factor limitante
			ha		Kg/ha	
A. Cazzulani	La Risaia	Portuguesa	3.1	25-08-23	1806.5	Cosechadora/FBN
L. Simón Pérez	El Carmelero	Cojedes	3.3	09-09-23	1500.0	Drenaje/FBN
M. Balaguer	Benaguasil	Portuguesa	5.0	01-09-23	762.0	Drenaje/FBN
V. Cicconetti	1F-26	Portuguesa	15.0	07-07-23	2030.0	Drenaje/FBN
V. Cicconetti	La Perla	Portuguesa	8.3	22-06-23	1727.7	Desgrane/FBN
V. Cicconetti	El Reto	Portuguesa	3.0	21-06-23	2381.7	-
V. Cicconetti	1J-14	Portuguesa	15.0	07-08-23	1468.0	Drenaje/FBN
V. Cicconetti	1J-11	Portuguesa	15.0	09-08-23	1404.7	Drenaje/FBN
V. Cicconetti	1F-25	Portuguesa	15.0	14-08-23	2176.4	Desgrane/FBN
V. Cicconetti	1J-13	Portuguesa	15.0	15-08-23	400.0	Drenaje/FBN
V. Cicconetti	Los Corrales II	Portuguesa	9.0	17-08-23	1230.6	Germinación/FBN

En total para el primer año se sembraron 106 hectáreas de soya con un rendimiento promedio de 1.5 toneladas por hectárea. Los principales factores que limitaron el rendimiento fueron el drenaje y la fijación biológica de nitrógeno (FBN), los cuales están directamente asociados ya que, si no hay oxígeno para el desarrollo de nódulos o para la planta, se generarán grandes pérdidas de rendimiento. Como el mejor período de siembra de soya en Venezuela coincide con el período de mayores precipitaciones, es fundamental para los productores que inviertan no solo en el drenaje superficial sino también el drenaje subterráneo.

Las principales lecciones aprendidas en la cosecha del año 2023 sirvieron como correcciones el año 2024. Las principales mejoras fueron: (a) drenaje del suelo, (b) mejorar la plantabilidad y (c) mejorar la fijación biológica de nitrógeno. En lo que va de 2024, se ha registrado un aumento del 200% en la superficie sembrada de soya en rotación con arroz y la expectativa es llegar a 4 toneladas de soya por hectárea (Tabla 13.6.2).

Tabla 13.6.2. Productor, finca, Estado, área sembrada, época de siembra, para el cultivo de soya en 2024.

Productor	Finca	Estado	Área sembrada	Fecha de siembra	Rendimiento
			ha		Kg/ha
V. Cicconetti	La Risaia Vecina	Portuguesa	53	10-05-24	Sin cosechar
V. Cicconetti	Armando 2	Portuguesa	16	12-05-24	3.165
V. Cicconetti	Armando 1	Portuguesa	14	13-05-24	2.881
V. Cicconetti	IJ-25	Portuguesa	17	14-05-24	Sin cosechar
V. Cicconetti	IJ-26	Cojedes	15	14-05-24	2.651
V. Cicconetti	IF-10	Portuguesa	15	15-05-24	1.729
V. Cicconetti	Respaldo IF-10-11	Portuguesa	8	15-05-24	Sin cosechar
V. Cicconetti	Respaldo IF-12-13	Portuguesa	5	15-05-24	Sin cosechar
V. Cicconetti	IF-12	Portuguesa	15	16-05-24	Sin cosechar
V. Cicconetti	IF-14	Portuguesa	15	16-05-24	2.906
V. Cicconetti	Montilla	Portuguesa	12	16-05-24	Sin cosechar
V. Cicconetti	Gustavo Gil	Portuguesa	11.3	29-05-24	Sin cosechar
V. Cicconetti	El Reto	Portuguesa	8	21-06-24	Sin cosechar
V. Cicconetti	La Perla	Cojedes	4	20-06-24	Sin cosechar
V. Cicconetti	Henry Carrasco	Portuguesa	9.6	01-07-24	Sin cosechar
V. Cicconetti	IF-11	Portuguesa	15	01-07-23	Sin cosechar
V. Cicconetti	Los Corrales II	Portuguesa	9	03-07-23	Sin cosechar

Ya para la safra de 2024 se han observado grandes ventajas de introducir la soya en el sistema de producción de arroz en Venezuela. Hasta el momento, el promedio de rendimiento es de 2.7 t/ha, lo que significa en un aumento del 58% de producción en comparación con el año pasado, con esos resultados promedios, llegamos al 65% del potencial alcanzable de soya en el país. Sin lugar a dudas, con buenas prácticas de manejo será posible llegar al 80% del potencial alcanzable y producir 4 t/ha de soya.

13.7. Cómo les va a los cultivos de soya en 2024 con las lecciones aprendidas de 2023

En las imágenes a continuación podemos ver los cultivos para el año de 2024, con alto potencial de producción. Uno de los principales factores para estas fincas es el buen drenaje del suelo y, en consecuencia, presentarán una mejor eficiencia en la fijación biológica de nitrógeno (Figura 13.7.1a).







Figura 13.7.1. Cultivos de soya en rotación con arroz sembrados en 2024 a-f.

En las anteriores imágenes observamos los grandes avances que se han logrado en 2024, con el esfuerzo y dedicación de técnicos y productores (Figura 13.10.1a-b-c-d-e-f). Cada día que pasa, estamos más seguros de que sí es posible producir 4 toneladas de soya en rotación con arroz en Venezuela. Sin embargo, esto requiere investigación, inversión, dedicación, gestión y, sobre todo, un manejo cuidadoso para que podamos extraer el máximo que la planta puede producir.

Desde el inicio del proyecto, hemos trabajado en colaboración con productores locales e investigadores para desarrollar métodos eficientes de manejo agrícola, teniendo en cuenta las condiciones específicas del suelo y del clima del país. En 2024, logramos un hito importante al producir 3 toneladas de soja por hectárea en áreas previamente cultivadas con arroz. Este logro refleja el éxito de la estrategia de rotación.



Figura 13.7.2. Folleto divulgando los resultados obtenidos en la cosecha del lote de soja Armando II.

Para evaluar el impacto del cultivo de soja en rotación con arroz, se seleccionaron 51 lotes para analizar la intensificación de cultivos en rotación con arroz. En la Figura 13.7.3 se observa los cultivos predecesores a la siembra del arroz y los beneficios de la rotación en relación con el rendimiento del arroz.

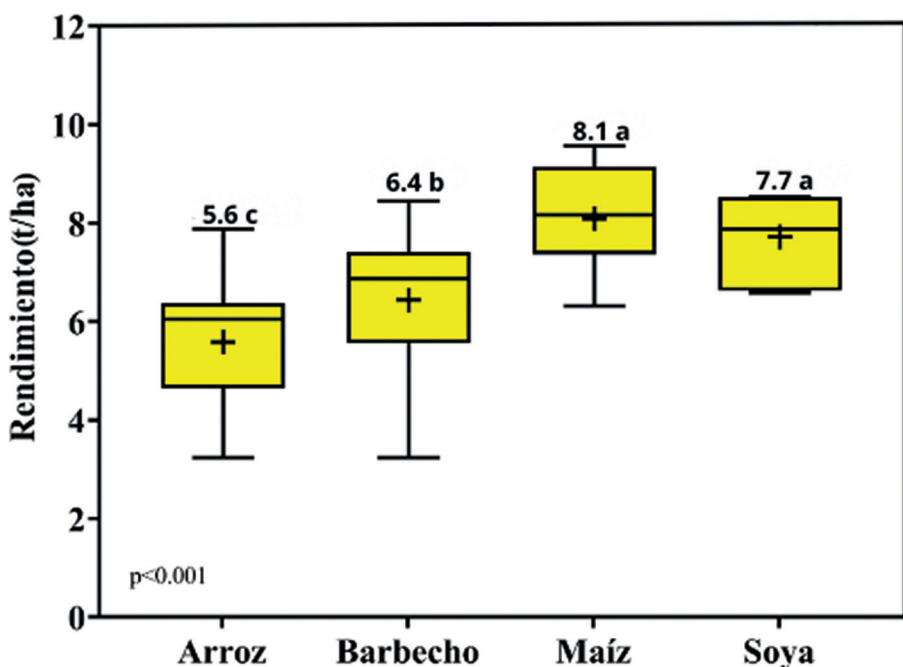


Figura 13.7.3. Box plots con los principales sistema de producción de arroz en Venezuela y con la introducción de la soya en la temporada seca. Las cajas delimitan los porcentajes 25 y 75, mientras los bigotes representan el límite de 90 y 10 por ciento y la línea horizontal representa la mediana. ($p>0.05$ ns; $p<0.05$ 5% de significancia; $p<0.001$ % de significancia).

En la figura 13.7.3 se observa que el sistema de arroz-arroz (monocultivo) es el sistema más fragil, y se puede explicar por las siguientes razones: provoca el agotamiento del suelo y aumenta la proliferación de plagas y enfermedades, además, el monocultivo intensifica la dependencia de insumos químicos, como fertilizantes y pesticidas, lo que induce a la resistencia de las plagas (Silva et al., 2021 ; Ribas et al., 2021).

Económicamente, esta práctica hace que los agricultores sean vulnerables y aumenta el riesgo de pérdidas totales. Para mitigar estos problemas, la rotación de cultivos es una solución viables que promueve la sostenibilidad y la resiliencia a largo plazo de los sistemas agrícolas.

Por otro lado, la rotación del arroz con maíz y soya permitió ganancias del 44 y 38%, respectivamente, en comparación

con la producción de arroz en monocultivo. Esta práctica de rotación de cultivos, presenta como principal beneficio el control de malezas y la reducción de los costos de producción.

A continuación, relato del productor Venturino Cicconetti en relación a la intensificación del sistema como opción para reducir los costos agrícolas.

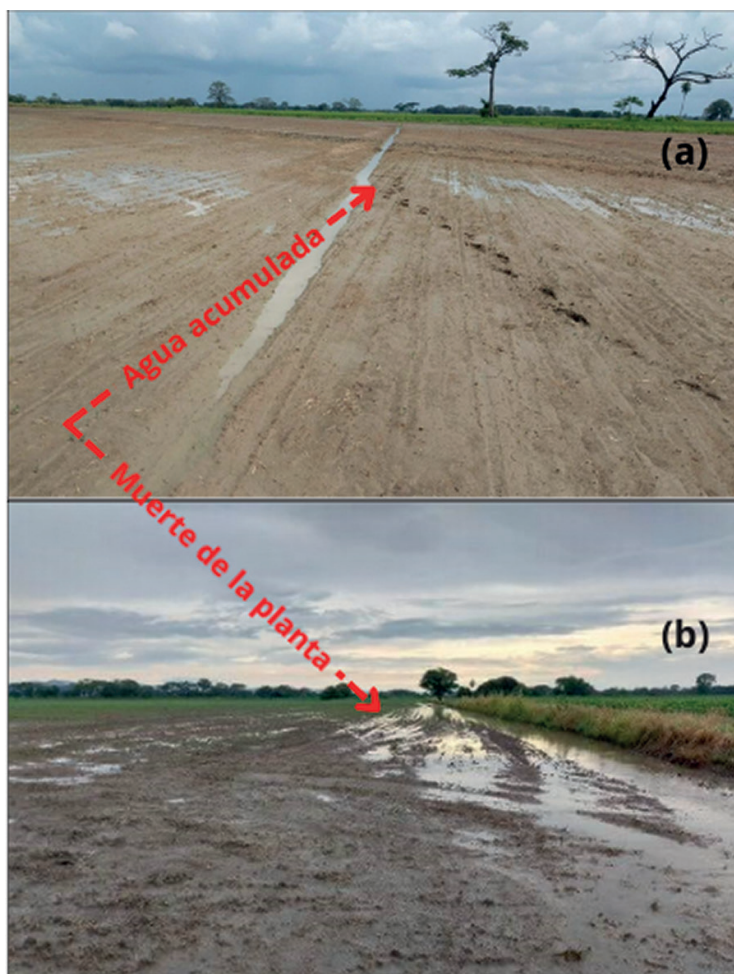
“Mi apreciación de la rotación soya-arroz, en la zona (Alrededores de la Represa Las Majaguas) en lotes donde tenemos más de 30 años sembrando arroz....de los cuales los últimos 15 años ya usamos siembra en seco, con sembradoras a veces en directa otras veces con rotaciones con maíz y hasta cultivos de servicios o coberturas como frijol chino.... La Soya, viene a elevar las expectativas agronómicas del sector, ya que reduce la cantidad de malezas y se facilita el control debido al uso de nuevos herbicidas, diferentes a los utilizados en arroz (Selectividad). Evitando así, la resistencia de las malezas como consecuencia de la falta de rotación de los agro-insumos. Los campos quedan listos para sembrar en siembra directa con arroz de verano, que es el principal de la zona. Se ha logrado reducir la totalidad de costos de preparación de suelos y los efectos de la mecanización sobre el suelo (reduce compactación, deterioro de equipo, contaminación por uso de combustible fósil y disminuye el uso de la urea).... y colocar la mayoría de los lotes arroceros de verano en su mejor ventana de siembra aprovechando las fechas ideales de las mismas demasiado agradecido con la sinergia entre estos 2 cultivos. La rotación arroz-soya nos ha permitido obtener suelos sustentables y sostenibles, con el menor impacto ambiental y regenerandolos para las generaciones futuras” – Venturino Cicconetti.

La meta con base en los resultados de este proyecto es producir 4 toneladas de soya durante la temporada de lluvias y 8 toneladas de arroz durante la temporada seca, temporada con mayor potencial para producir arroz.

13.8. Principales desafíos de la soya en rotación con arroz en Venezuela

1. Drenaje y plantabilidad

Uno de los principales factores que afectó el desarrollo y crecimiento de la soya fue el drenaje del suelo (Figura 13.8.1ab-c-d). Cuando el suelo está mal drenado, se produce una disminución de la cantidad de oxígeno disponible para las raíces. Esta falta de oxígeno, o hipoxia, tiene consecuencias, resultando en un crecimiento reducido de las raíces y una menor capacidad de absorción de nutrientes y agua (Tagliapietra et al., 2022).



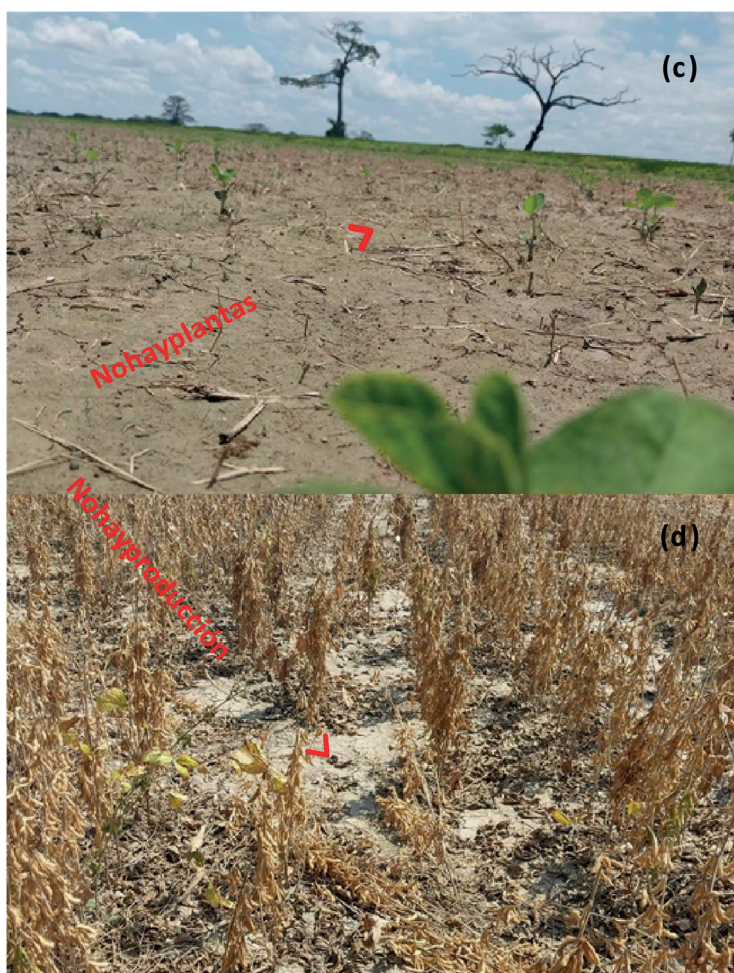


Figura 13.8.1. Exceso de agua por mal drenaje del suelo (a), espacios vacíos en el cultivo por muerte de plantas por exceso de agua (b), plantaciones con baja población (c) y cultivo listo para cosechar con espacios vacíos (d).

Para mitigar los impactos negativos, varias estrategias pueden ser adoptadas: 1. La mejoría del drenaje es esencial y puede ser alcanzada con la instalación de sistemas de drenaje subterráneo o superficial, que remuevan el exceso de agua; 2. Técnicas de manejo de suelo como el subsolado y la construcción de canales de drenaje, estos también ayudan a mejorar la infiltración y percolación del agua; 3. La selección de variedades de soya mas tolerantes a las condiciones de suelos mal drenados puede mi-

nimizar los impactos negativos; 4. Prácticas de manejo de suelo orientadas a cultivos que mejoran la estructura y promueven mejor drenaje como el uso de plantas de cobertura, las cuales son esenciales para mejorar la estructura del suelo y reducir el riesgo de saturación hídrica.

2. Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN)

La falta de oxígeno limita la actividad metabólica de las bacterias fijadoras de nitrógeno, lo que resulta en una menor formación de nódulos en las raíces de la soya. Además, la baja eficiencia en la inoculación puede verse agravada por una mala elección de cepas de *Bradyrhizobium* o por una baja aplicación de inoculantes.

La deficiencia de nitrógeno se manifiesta en las plantas de soya con un crecimiento reducido, hojas amarillentas (clorosis), especialmente en hojas viejas, y un menor número de vainas y granos. El nitrógeno es un componente vital de las proteínas, enzimas y de la clorofila, haciendo que su falta afecte directamente a la fotosíntesis y al metabolismo general de la planta. Como resultado, el rendimiento de la soya se ve reducida significativamente (Figura 13.8.2a-b-c). Por tanto, un buen drenaje asegura que el suelo mantenga niveles adecuados de oxígeno, favoreciendo tanto la FBN como el desarrollo saludable de los cultivos.

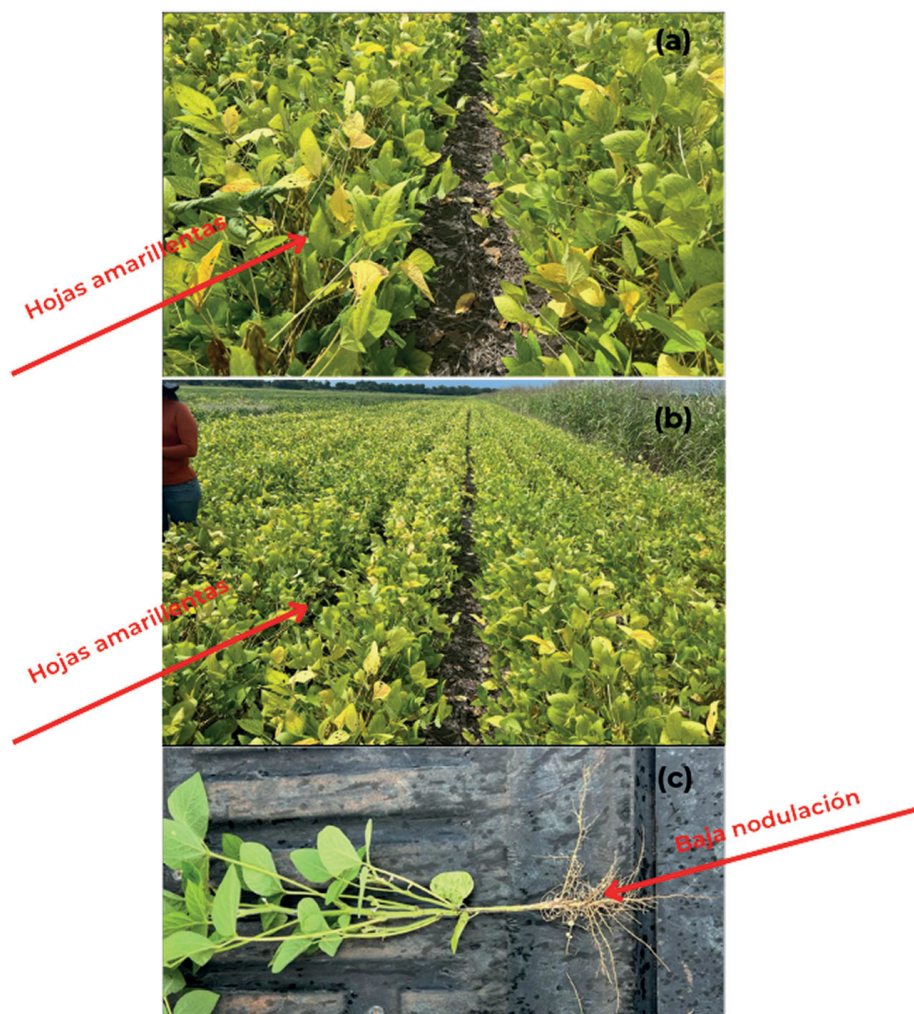


Figura 13.8.2. (a-b) Hojas de soya amarillentas por deficiencia de nitrógeno y (c) planta con baja eficiencia de nodulación por exceso de agua.

13.9. Escalera con los principales factores que afectan los rendimientos de la soja

La escalera muestra la importancia de los factores que deben ajustarse para lograr una producción exitosa de soja en rotación con arroz en Venezuela (Figura 13.9.1).

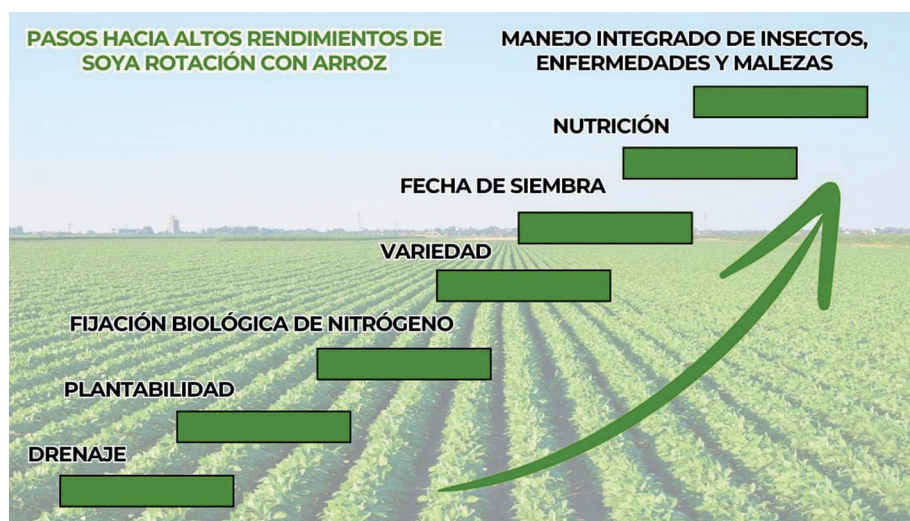


Figura 13.9.1. Escalera de factores de importancia que deben ajustarse buscando altos rendimientos de soja en rotación con arroz en Venezuela.

Para desarrollar un cultivo de soja en rotación con arroz, el primer paso es crear un drenaje eficiente en el campo. La plantabilidad está directamente asociada al drenaje, así como, a la fijación biológica de nitrógeno, que son los siguientes escalones y deben ser bien gestionados. La genética es sin duda otro paso esencial hacia el éxito del sistema, cultivares adaptados a las condiciones de Venezuela con un alto potencial de rendimiento. La fecha de siembra es el siguiente pilar fundamental y debe realizarse considerando dos criterios principales, la disponibilidad de agua para la planta y, a nivel de sistema, pensado en la cosecha para luego sembrar el arroz. Luego se encuentran, la nutrición y el manejo integrado de plagas y enfermedades también esenciales para alcanzar altos rendimientos.



14. Uso de tecnologías digitales para cerrar la brecha de rendimiento en arroz-soya

Esta sección desarrolla la metodología utilizada para la incorporación de las tecnologías digitales en el desarrollo del proyecto piloto “Solución Técnica 52 (ST 52): Incrementar rendimientos en soya y arroz, incorporando tecnologías digitales y protocolos agronómicos innovadores”, con el fin de contribuir al incremento de los rendimientos y al cierre de brechas productivas en la soya y arroz en Venezuela.

En el desarrollo de la denominada “cuarta revolución industrial” (Industria 4.0), las tecnologías digitales contribuyen con la eficiencia productiva y sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Se considera a la Agricultura 4.0 (Agtech), como un conjunto de tecnologías centradas en la digitalización y automatización de los procesos agrícolas, con miras a agregar valor y diversificar la producción en el sector agroalimentario. Se trata de “plataformas digitales, sensores, Internet de las Cosas, robots, drones e imágenes de satélites, Big Data, Cloud Computing, Inteligencia Artificial y Blockchain”, que pueden mejorar el proceso de producción de principio a fin, haciéndolo más rápido, económico y sostenible (CEPAL, 2021).

Para alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible de un mundo libre del hambre para 2030, la FAO (2019), indica que se requieren de “sistemas alimentarios más productivos, eficientes, sostenibles, inclusivos, transparentes y resilientes”, para lo cual es necesario abordar la transformación de los sistemas agroalimentarios actuales, siendo las innovaciones y tecnologías digitales una parte de este proceso.

“Las tecnologías disruptivas están revolucionando digitalmente la producción agrícola y los agro negocios, por ello, es fundamental el conocimiento de las mismas para aprender a utilizarlas y así hacer frente a este nuevo reto que permitirá transformar la agricultura en más sostenible y rentable” (García, 2020).

14.1. Incorporación de aplicaciones y tecnologías digitales para el monitoreo de cultivos

La incorporación de aplicaciones (App's) y Agtech, para el monitoreo de cultivos, constituyen componentes indispensables en el proceso de transformación digital de la agricultura; su desarrollo permite la toma de decisiones eficientes, basado en datos, para la gestión sustentable de los cultivos y optimización de sus costos.

En el sector agrícola existe una amplia gama de nuevas tecnologías que promete impactar significativamente en los modelos de producción, gracias a las nuevas formas de recopilar, almacenar, gestionar, transferir y analizar grandes volúmenes de datos (García, 2020).

La disponibilidad de imágenes satelitales, y las derivadas de los vehículos aéreos no tripulados (UAVs), así como el desarrollo de los Sistema de Información Geográfica (SIG) y el procesamiento en la nube, constituyen herramientas útiles para una comprensión de la realidad agrológica de los lotes de producción y por ende el desarrollo de estrategias para un manejo integrado del cultivo (MIC).

Las imágenes multiespectrales y los índices radiométricos derivados, se presentan como fuente de información valiosa para conocer sobre el crecimiento normal de las plantas y las condiciones causadas por la deficiencia de nutrientes, incidencia de plagas y enfermedades, estrés abiótico, entre otros, en los sistemas agro productivos.

Los vehículos aéreos no tripulados (UAVs) o drones, y sus imágenes, son una tecnología emergente, útil en el estudio de los parámetros agrícolas, por sus características, por disponer de sensores que captan diferentes rangos espectrales, así como por la capacidad de generar imágenes con alta resolución espacial, permitiendo la recopilación de datos de manera oportuna, para contribuir con la toma de decisiones sobre el manejo de los cultivos, tales como el tratamiento localizado de las infestaciones asocia-

das a plagas o enfermedades y gestión de la maleza, manejo de riego, drenajes, fertilización diferenciada, entre otros (Ríos, 2021).

De igual forma, las plataformas Webs de monitoreo satelital, ofrecen múltiples funciones útiles para la evaluación y el análisis del estado de los cultivos: índices multiespectrales (NDVI, NDRE, MSAVI, ReCi, NDWI, GNDVI, SAVI, entre otros), mapas de vegetación y rendimiento, tareas de exploración, previsión y seguimiento meteorológico, datos históricos, registro y control de las actividades en el campo, entre otros, además de la posibilidad de integración a los SIG, con el desarrollo de sus respectivas Bases de Datos.

La combinación de información derivadas de drones y de satélites, así como su integración a los SIG, ofrecen múltiples ventajas al sector agrícola, ya que permiten la evaluación sistemática de la salud y desarrollo de los cultivos. Estas tecnologías, son herramientas de apoyo, útiles para transitar a la llamada Agricultura de Precisión; los desafíos se asocian a los paradigmas que poseen los productores sobre el uso de las mismas, así como la factibilidad de integración progresiva al campo, considerando las realidades económicas y culturales del mismos.

Por todo lo anterior, la ONUDI ha venido desarrollando Soluciones Técnicas que incorporan Agtech y protocolos agronómicos innovadores para contribuir al incremento de rendimientos en los cultivos: arroz, maíz y soya en Venezuela.

14.2. Flujo de trabajo

Se incorporó al proyecto piloto de rotación arroz/soya, el uso de un Dron Multiespectral, marca XAG, modelo M500, con 4 canales multiespectrales: rojo (RED), verde (GREEN), borde rojo (REG) e infrarrojo cercano (NIR), y RGB, provisto por la ONUDI a la Asociación de Productores Rurales del estado Portuguesa (Asoportuguesa), como parte del proyecto piloto “ST 67: Aplicación de tecnologías digitales y protocolos agronómicos innovadores para aumentar el rendimiento del maíz”, desarrollado en el estado Portuguesa, Venezuela, entre los años 2022-2023.

El procesamiento de los datos obtenidos, su análisis e interpretación, fueron realizados por los Especialista de la ONUDI, utilizando un software (Agisoft Metashape), en su versión demostrativa profesional, para la generación de los orto-mosaicos de las imágenes multispectrales derivadas del dron y sus bandas; un gestor de información geográfica (SIG), QGIS 3.28.10, así como los datos derivados de la plataforma de monitoreo satelital de cultivos e imágenes satelitales obtenidas a través de Google Earth Engine (GEE), a los fines de comparar los resultados, según el flujo de trabajo indicado en la Figura 14.2.1.

Con relación a las aplicaciones de monitoreo satelital de cultivos, el Equipo del proyecto de la ONUDI, revisó un conjunto Agritech, mediante la evaluación de una serie de variables definidas y asociadas a la funcionabilidad, conforme a las necesidades del proyecto piloto.

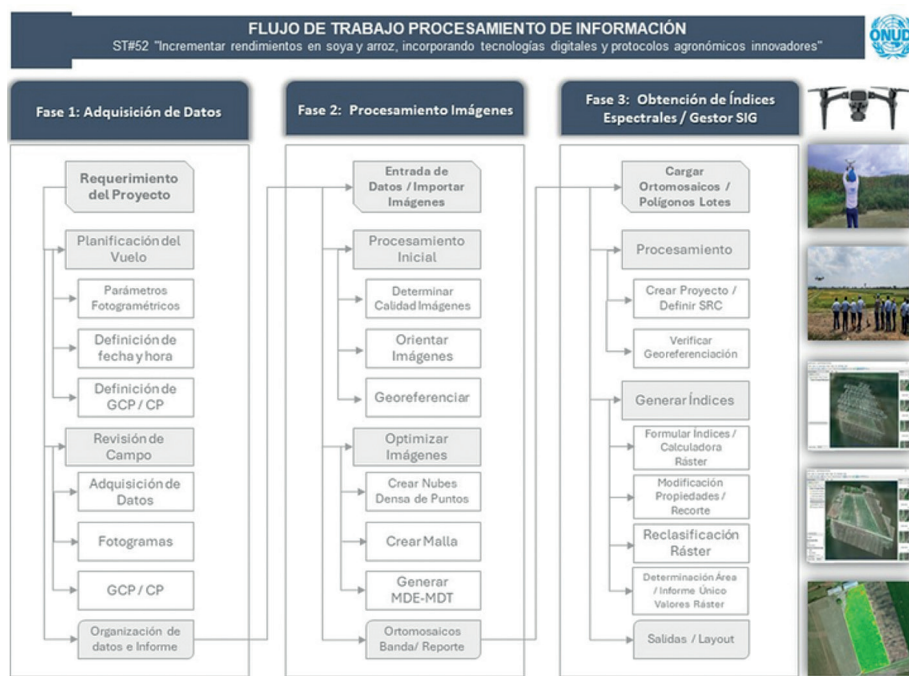


Figura 14.2.1. Flujo de trabajo para el procesamiento de las imágenes multispectrales derivadas de drones y satélites. Fuente: Equipo de trabajo ONUDI (2.023).

14.3. “Una imagen - Una Acción”

El procesamiento de las imágenes multiespectrales y los orto-mosaicos en las Fases 1 y 2, permitió generar los principales índices espectrales:

- Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI) $(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$;
- Índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE) $\text{NDRE} (\text{NIR} - \text{RED EDGE}) / (\text{NIR} + \text{RED EDGE})$;
- Índice de Clorofila de Borde Rojo (ReCI) $(\text{NIR} / \text{RED EDGE}) - 1$;
- Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI) $(\text{GREEN} - \text{NIR}) / (\text{GREEN} + \text{NIR})$; Método Mc Feeters, 1996;
- Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) $((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + \text{L})) * (1 + \text{L})$;
- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI) $(\text{NIR} - \text{GREEN}) / (\text{NIR} + \text{GREEN})$;
- Índice de Vegetación Rojo-Verde (GRVI) $(\text{RED} - \text{GREEN}) / (\text{RED} + \text{GREEN})$;
- MDT y curvas de nivel.

El cálculo de los diferentes índices espectrales, permitió analizar los problemas asociados a la distribución y uniformidad espacial de la plantación, plantabilidad, condiciones de drenajes, presencia de malezas, vigor de la plantación y condiciones de fertilización, daños por plagas y enfermedades, entre otros.

De igual forma, las aplicaciones de monitoreo satelital, permitieron el acceso a las imágenes de satélites, los datos e información de la previsión meteorológica, planificación de labores, condiciones del cultivo e información de los mismos, mediante los índices espectrales obtenidos, así como la generación de alertas sobre las anomalías observadas en el cultivo al personal técnico del proyecto piloto.

Adicionalmente, las aplicaciones permitieron el acceso, visualización y exportación de información sobre los índices de

vegetación de la temporada, gráficos meteorológicos, etapas de crecimiento del cultivo, mapas de rendimiento media del suelo de periodos de tiempo representativos, mapas de siembra y fertilización variable, entre otros.

Estos índices generados, se integraron y correlacionaron con los índices obtenidos de las imágenes multispectrales del dron, así como las imágenes de satélites procesadas en GEE, disponibles para el periodo, a través del SIG y utilizando métodos geoestadísticos.

En este sentido, en noviembre de 2023, se realizaron toma de imágenes multispectrales con dron, a través de misiones programada con los técnicos de ASOPORTUGUESA, en cuatro (4) de las ocho (8) parcelas demostrativas, las cuales realizaron dentro del ciclo de siembra de la soya. A continuación, se presentan los resultados de la aplicación de las tecnologías digitales utilizadas en el proyecto piloto (Figura 14.3.1).

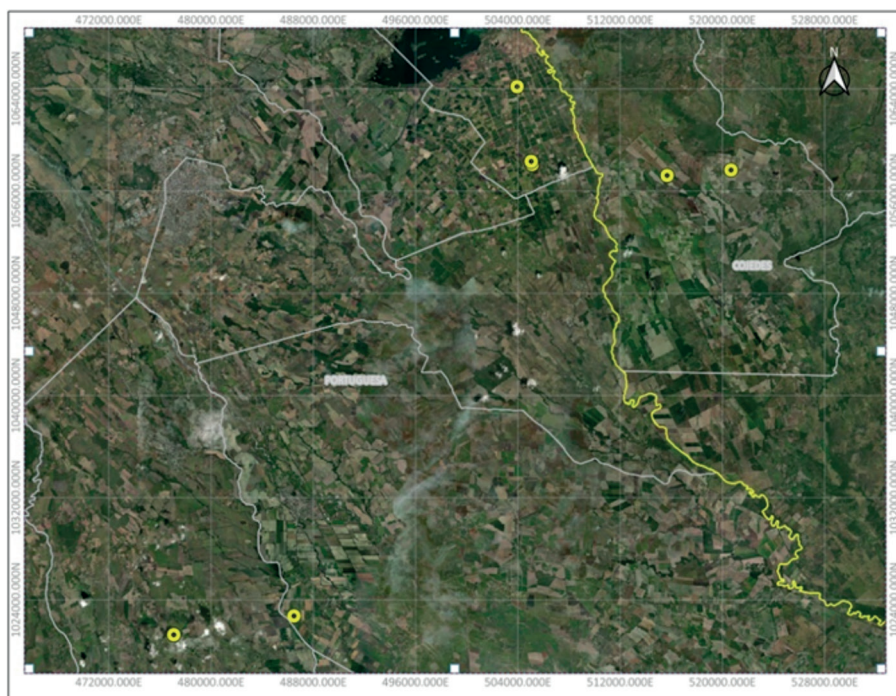


Figura 14.3.1. Ubicación relativa de los lotes de soya en el proyecto piloto ST #52, en el ciclo de siembra -2023, estados Portuguesa y Cojedes. Fuente: Cálculo propios. Equipo ONUDI (2023).

Con el fin de obtener evidencia del estado del cultivo y las condiciones de manejo, se realizó el cálculo de los principales índices de vegetación para cada lote (Figura 14.3.2).

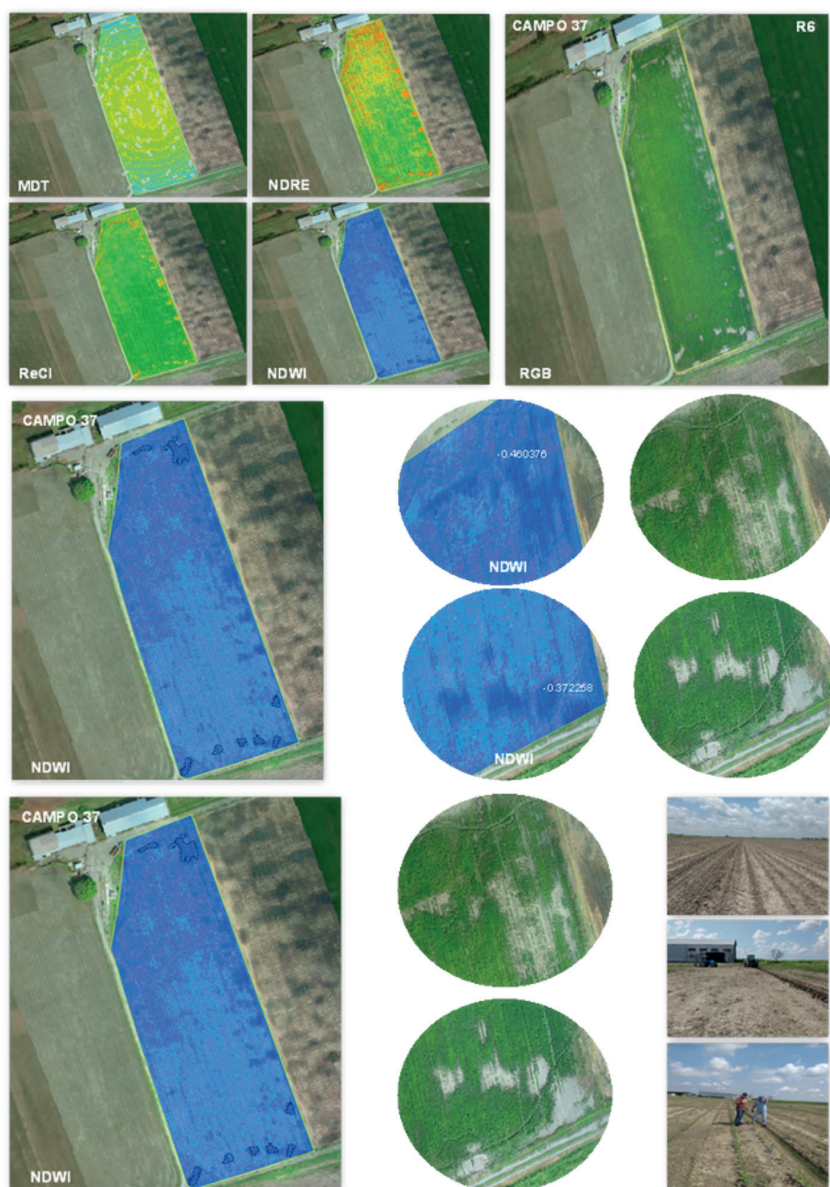
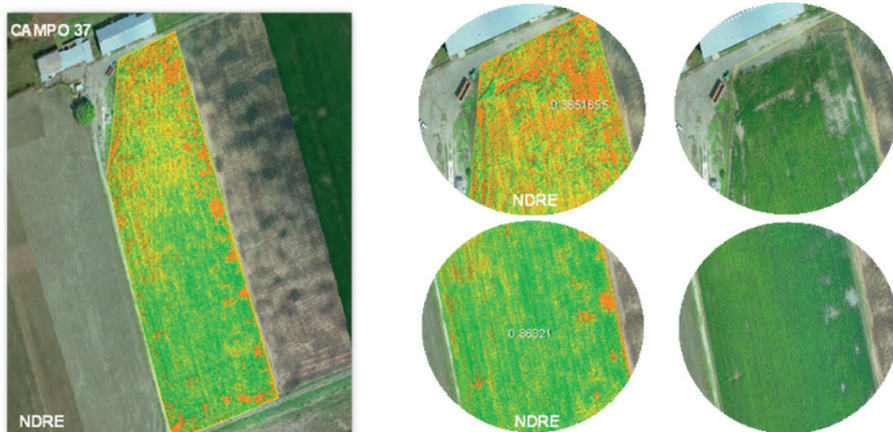


Figura 14.3.2. Campo 37, lote de soya en el proyecto piloto ST #52, en el ciclo de siembra -2023, estados Portuguesa. Fuente: Calculo propios. Equipo ONU-DI (2023).

Los mayores problemas observados en el Campo 37, ubicado en el sector Las Trincheras, municipio Esteller, estado Portuguesa, evidenciaron escasa cobertura vegetal hacia el norte, este, sureste y suroeste del lote, conformando manchones aislados, por carencia de humedad y limitaciones de drenajes-compactación, según lo refleja el Índice NDWI; estas limitantes fueron consideradas para su corrección en los venideros ciclo de siembra.

Para evaluar la condición nutricional del cultivo, se calculó los Índices NDRE y ReCI. El NDRE, se utiliza normalmente para controlar los cultivos que han alcanzado la fase de madurez, es decir, se aplica a la cubierta vegetal de alta densidad; por su parte, el índice ReCI, muestra la actividad fotosintética de la vegetación en función del contenido de clorofila en las hojas que se nutre de nitrógeno; dado que el contenido de clorofila depende directamente del nivel de nitrógeno en las plantas, responsable de su “verdor”, este índice de vegetación ayuda a detectar las zonas con follaje amarillo o descolorido, útil en la fase de desarrollo activo de la vegetación. Las imágenes y valores de los índices se muestran en la Figura 14.3.3.



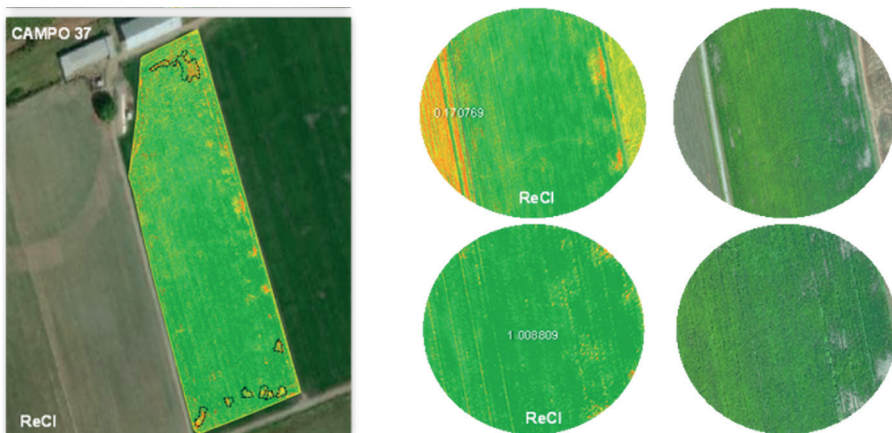


Figura 14.3.3. Índices espectrales obtenidos de las imágenes de dron Campo 37, estado Portuguesa. Fuente: Cálculo propios. Equipo ONUDI (2023).

El índice NDRE, presentó valores medios a bajo (0,70-0,32) en el sector norte del lote, lo que explica el amarillamiento del cultivo en esta sección, posiblemente producto de la condición de baja humedad y nutricional presente; hacia el sector medio y sur del lote, el índice NDRE alcanza valores medios a altos; cabe resaltar que para el momento de la misión el cultivo se encontraba entre R5 y R6.

Los índices derivados de las imágenes del dron, fueron comparados con los índices y mapas de productividad calculados por las aplicaciones de monitoreo satelital para el periodo de la misión, y procesados por el gestor de información geográfica, obteniéndose similar comportamiento, tal como lo indican la Figura 14.3.4.

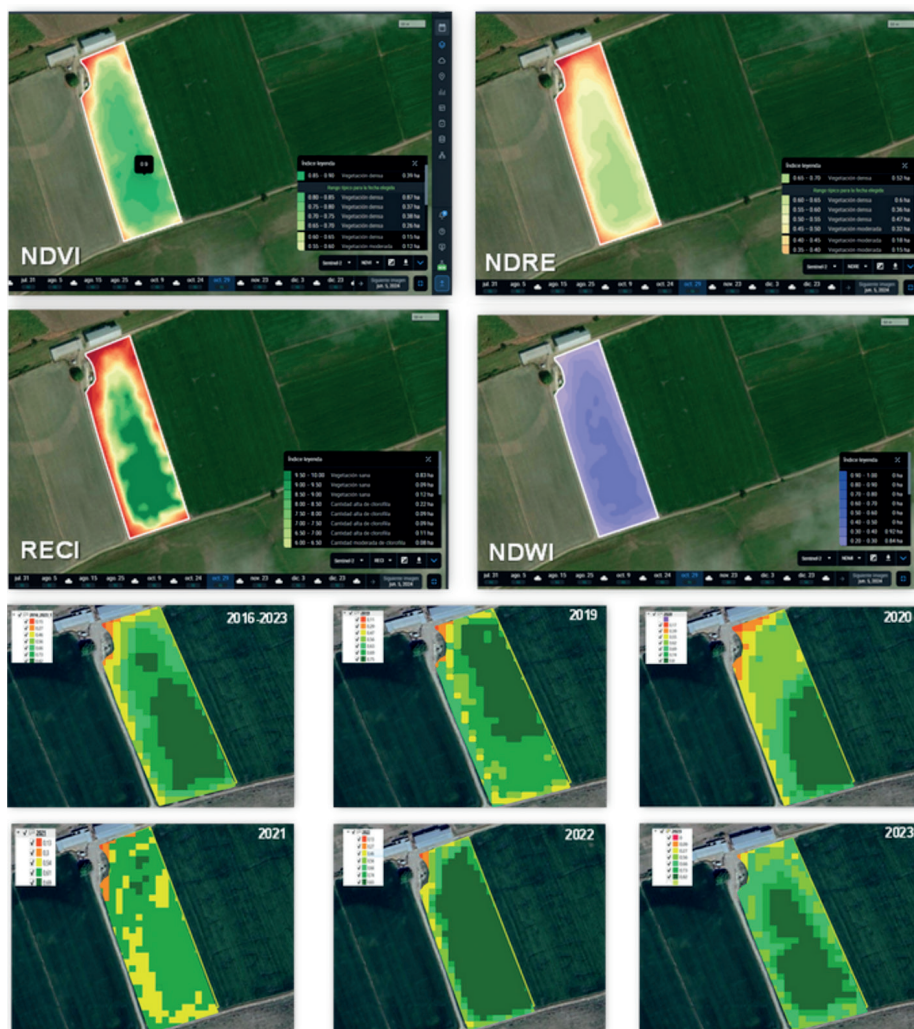


Figura 14.3.4. Índices espectrales obtenido de la aplicación de monitoreo satelital. Fuente: EOS Crop Monitoring (2023).

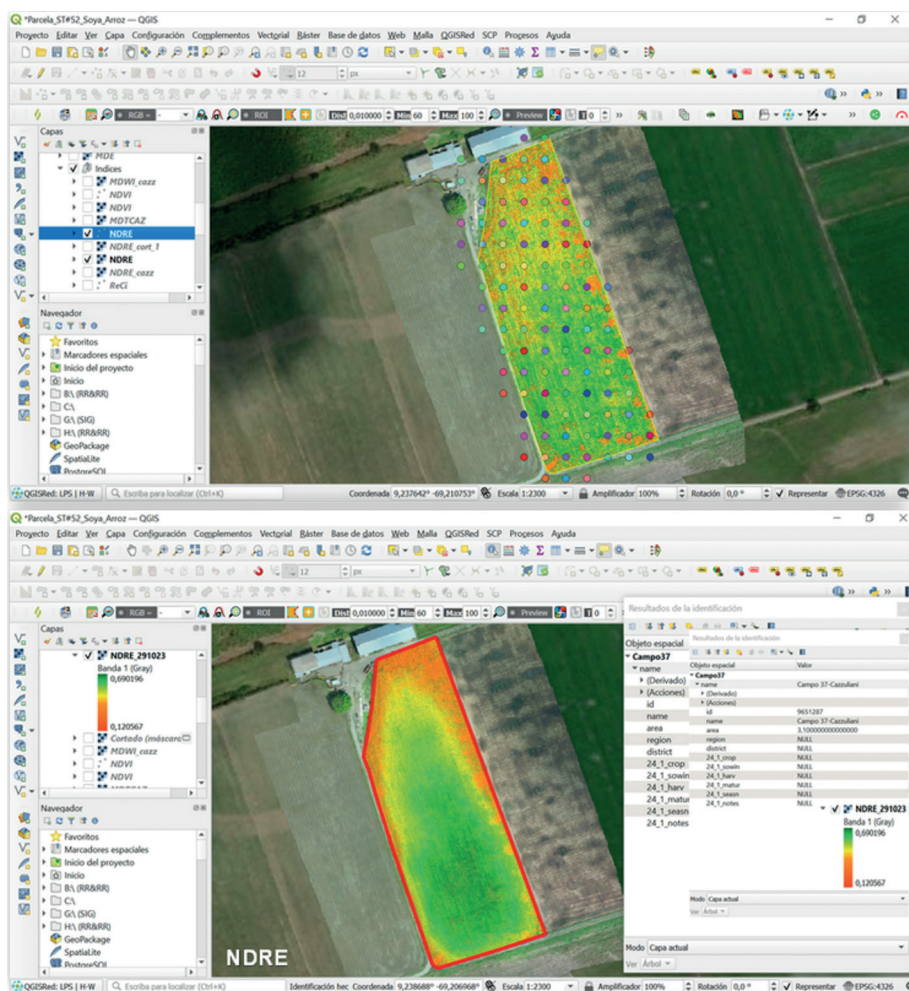
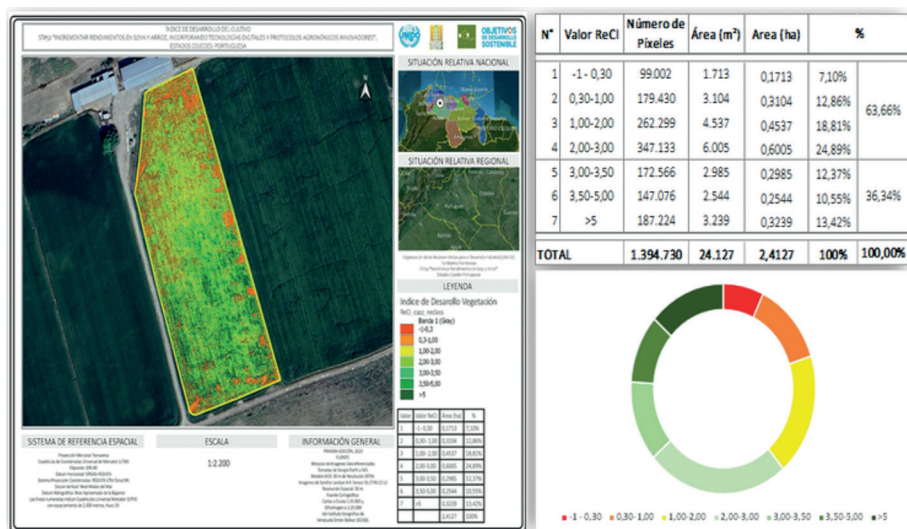


Figura 14.3.5. Índices espectrales obtenido de la aplicación de monitoreo satelital y procesados en QGIS por métodos geoestadísticos. Fuente: Calculo propios. Equipo ONUDI (2023).



personalizadas, que pueden compartirse con muchos otros usuarios. Además, permite realizar una variedad de análisis, incluidas técnicas de aprendizaje automático como máquinas de vectores de soporte, agrupamiento de k-medias y técnicas de bosque aleatorio. El análisis se puede aplicar a gran escala mediante el procesamiento paralelo, lo que le brinda el poder de realizar análisis a escala global incluso en datos de escala fina.

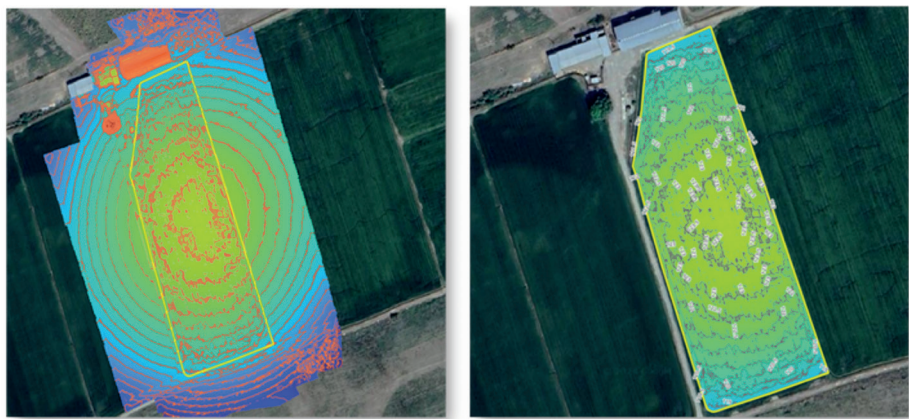


Figura 14.3.7. Modelo de Superficie Digital (MDS) y de Elevación del lote. Fuente: Calculo propios. Equipo ONUDI (2023).

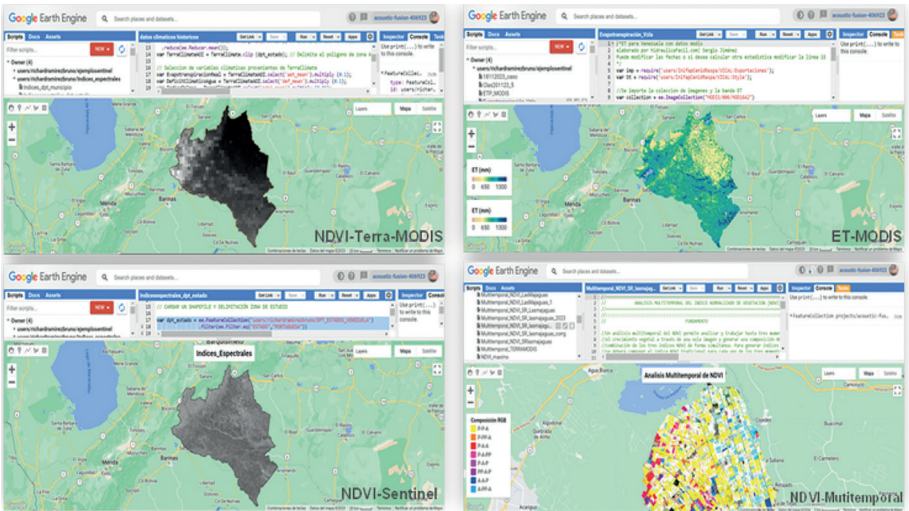


Figura 14.3.8. Modelo de Superficie Digital (MDS) y de Elevación del lote. Fuente: Calculo propios. Equipo ONUDI (2023) con base en la plataforma GEE.

Cómo parte de los recursos tecnológicos valiosos incorporados al proyecto piloto “ST# 52”, se instalaron estaciones meteorológicas para la medición y registro de diversas variables meteorológicas: temperatura del aire, evaporación, presión atmosférica, radiación solar e infrarroja, vientos, humedad atmosférica, punto de rocío, precipitación, intensidad de la lluvia, entre otras, a los fines de evaluar la relación de los parámetros meteorológicos con las variables biofísicas y de rendimiento, así como la fenología y desarrollo de los cultivos.

En total, se situaron 06 estaciones portátil, marca Davis Instruments, modelo Vantage Pro 2 6162C, con conexión inalámbrica y satelital, con consola WeatherLink, distribuidas estratégicamente en las áreas de influencias de los referidos proyectos pilotos, las cuales permiten generar pronósticos locales, máximos/mínimos, totales o promedios y gráficos para prácticamente todas las variables climáticas en días, meses o años; en la Figura 14.3.9 se ilustra el modelo de la tecnología y localización relativa de las estaciones.



Figura 14.3.9. Modelo de estaciones meteorológicas y su ubicación relativa.
Fuente: Equipo ONUDI (2023) con base en información de Farmstill.

Estos equipos climatológicos modernos (estaciones, accesorios de conexión y transmisión de datos, software de análisis y alertas), conjuntamente con los pronósticos derivados de las aplicaciones de monitoreo satelital, permiten obtener y procesar información climática muy útil para la gestión de cultivos, en particular la planificación y ajuste de las labores agrícolas según las condiciones climáticas, recibir alertas para responder a tiempo, así como información precisa y oportuna para la toma de decisiones sobre el manejo.

Este flujo de trabajo, se implementó para cada uno de los lotes evaluados del proyecto piloto, a través de la misión de levantamiento de imágenes multiespectrales de dron realizadas en noviembre de 2023 e información derivada de las aplicaciones de monitoreo satelital y estaciones meteorológicas, tal como se indican en las Figuras del 14.3.10 al 14.3.14.

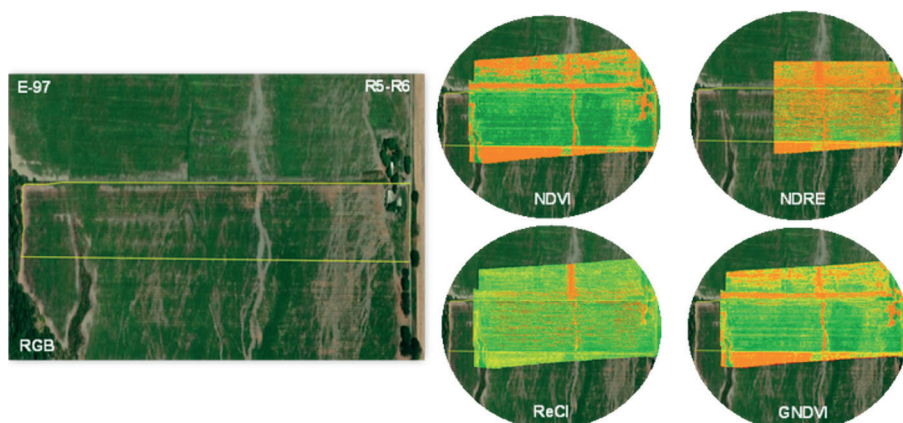


Figura 14.3.10. Índices espectrales derivados imágenes de dron lote E-97, estado Portuguesa. Fuente: Cálculo propios. Equipo ONUDI (2023).

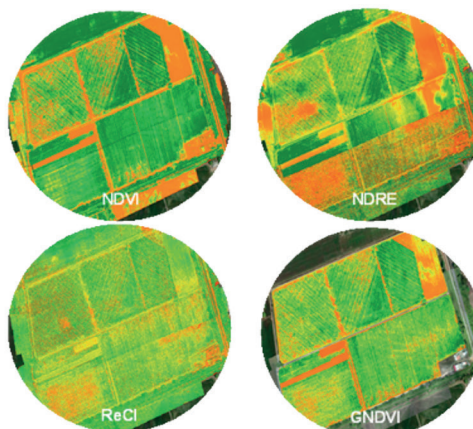


Figura 14.3.11. Índices espectrales derivados imágenes de dron lote 1-J-13-14, estado Portuguesa. Fuente: Calculo propios. Equipo ONUDI (2023).

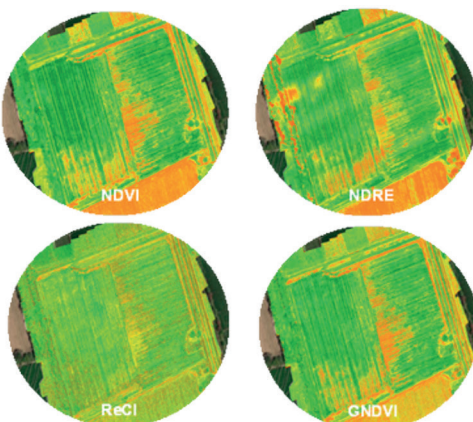


Figura 14.3.12. Índices espectrales derivados imágenes de dron lote J1F-25, estado Portuguesa. Fuente: Calculo propios. Equipo ONUDI (2023).

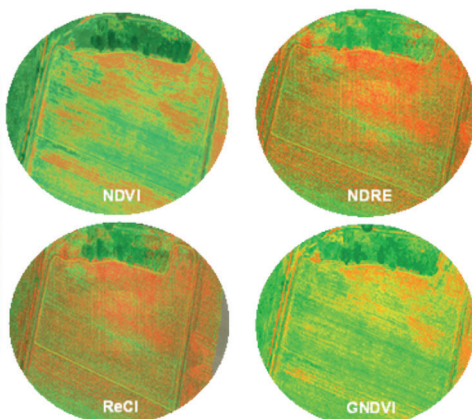


Figura 14.3.13. Índices espectrales derivados imágenes de dron lote Campo-03, estado Cojedes. Fuente: Calculo propios. Equipo ONUDI (2023).

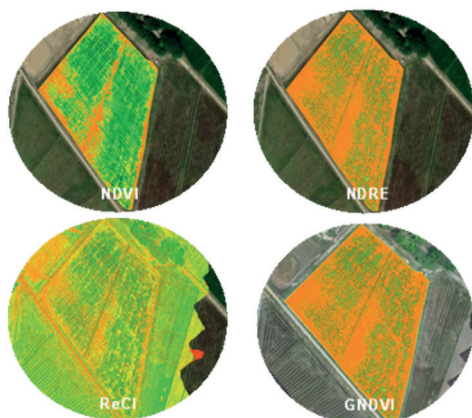


Figura 14.3.14. Índices espectrales derivados imágenes de dron lote El Carmelero, estado Cojedes. Fuente: Calculo propios. Equipo ONUDI (2023).

En términos generales, los índices de vegetación calculados indican para los lotes presentaron problemas asociados a la escasa cobertura vegetal, carencia y excesos de humedad, limitaciones de drenajes-compactación, valores medios a bajo en la condición nutricional del cultivo.

Con base en los resultados obtenidos del análisis de los índices de vegetación, indicadores e información temática geográfica, se logró formular recomendaciones de manejo específico para los casos de estudios, en particular aquellas variables

determinantes en los componentes de rendimiento, las cuales al ser adoptadas por los agricultores permitirán la disminución de la brecha productiva entre quienes obtienen bajos rendimientos y quienes obtienen rendimientos superiores.

Los SIG son una herramienta fundamental para el monitoreo de prácticas agropecuarias, ya que permiten recopilar, analizar y visualizar datos geoespaciales relacionados con el manejo, así como la evaluación de la eficiencia e impacto de sus prácticas, contribuyendo a identificar las áreas de mejora y tomar decisiones informadas para una producción más sostenible.

Las plataformas de monitoreo satelital de cultivos, ofrecen múltiples funciones útiles para la evaluación y el análisis del estado de los cultivos etapas fenológicas y desarrollo del cultivo, así como información relevante para el manejo de sitios específicos, por ejemplo, los mapas de vegetación y rendimiento. De igual forma, contribuyen con las tareas de exploración de los campos, previsión y seguimiento meteorológico, datos históricos de los índices espectrales, planificación, registro y control de las actividades en el campo, entre otros.

Adicionalmente, las plataformas permiten el monitoreo sistemático del cultivo, contribuyendo con la toma de decisiones en función de las anomalías observadas según el comportamiento de los índices de vegetación, el cual se puede complementar con las tecnologías de drones para las etapas fenológicas más sensibles en el cultivo.

Las imágenes multiespectrales, se presentan como una herramienta y fuente de información valiosa para conocer sobre el crecimiento y desarrollo normal de las plantas, así como cuales son las condiciones y efectos causados en el cultivo por la deficiencia de nutrientes, las plagas, estrés abiótico, entre otros.

Cabe resaltar, la importancia del monitoreo satelital continuo y el levantamiento de información de detalle con el dron en las etapas fenológicas y de desarrollo del cultivo: V4, R1 (Inicio de floración), R3 (Inicio de la formación de vainas), R5 (inicio de llenado de grano) y R7 (inicio de maduración) a los fines de garantizar el control en el proceso de toma de decisiones.

Las Agtech posibilitan la integración con los SIG; las imágenes de alta resolución espacial derivadas de los drones e imágenes de satelitales, permite el acceso a datos e información de manera detallada, contribuyendo con la toma de decisiones para manejo integrado de los cultivos. Las herramientas de procesamiento en la nube, contribuye con el ahorro de recursos y tiempo de respuestas para la implementación de las estrategias de manejo; las Agtech son un componente relevante en el proceso de transformación digital de la agricultura.

La implementación de las buenas prácticas de manejo en cultivos como el arroz y soya, con el apoyo de información basada en Agtech, permite hacer un mejor uso de los recursos y de las capacidades disponibles, logrando que los agricultores cuenten con mejores herramientas de decisión, lo que a su vez se traduce en el aumento de rendimiento de los cultivos, así como su transición hacia la agricultura sustentable.

Finalmente, se destaca la importancia de la incorporación de estas tecnologías, para: a) generar información que agrega valor a los manejos agronómicos innovadores utilizados, b) proveer de datos a los modelos de predicción de rendimientos, c) realizar seguimiento satelital que permita y contribuya con la definición de las acciones a tomar en los manejos agronómicos innovadores.



15. Cadena productiva de arroz y soya en Venezuela

15.1. Cadena de Valor Agroindustrial del arroz y la soya en Venezuela

Las cadenas de valor son mecanismos que permiten a productores, procesadores y comerciantes – separados por tiempo y espacio – agregar valor gradualmente a productos y servicios, a medida que pasan de un vínculo de la cadena al siguiente, hasta llegar al consumidor final (local o global). “En la cadena de valor industrial una considerable parte de los actores se involucra en la transformación de productos primarios en bienes de consumo que generan valor agregado” (ONUDI, agosto 2013).

15.2. Cadena de Valor Agroindustrial de la Soya

La Cadena de Valor Agroindustrial de la Soya, está conformada por los eslabones de producción primaria, primera y segunda transformación agroindustrial, comercialización, para posteriormente, entregar los productos en el mercado al consumidor final. Los actores que participan en esta Cadena de Valor, se caracterizan por ser tanto públicos como privados, algunos se encuentran integrados verticalmente, al participar en más de un eslabón de la Cadena de Valor, siendo su área de actuación, principalmente, el mercado interno (Figura 15.2.1).



Figura 15.2.1. Cadena de valor agroindustrial de la soya. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), elaboración propia, mayo 2024.

La producción primaria, se refiere a las actividades agrícolas que van desde la siembra, desarrollo y cosecha de los granos, considerando en la mayoría de los casos el transporte, acondicionamiento y almacenamiento de la producción en silos. El producto primario es el grano de soya y su producción se concentra, principalmente, en la Región Centro-Occidental, estados Barinas, Cojedes, Guárico, Lara, Portuguesa y Yaracuy; así como en la Región Oriental, estados Anzoátegui y Monagas (Figura 15.2.2).

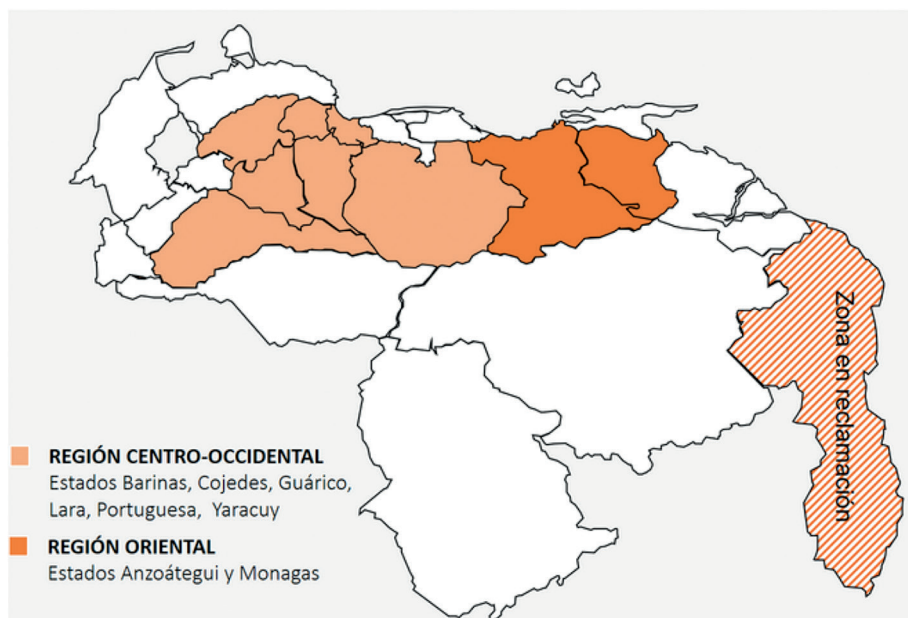


Figura 15.2.2. VENEZUELA. Ubicación Producción Primaria de Soya. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), elaboración propia, mayo 2024.

El potencial de superficie de siembra para el cultivo de la soya, estimado por especialistas, es aproximadamente, 2.1 millón de hectáreas, encontrándose aptas para la siembra 1.1 millón de hectáreas, existiendo potencial adicional, mediante la rotación de soya con otros cereales como maíz y arroz. Los productores se caracterizan por agruparse en asociaciones de productores, con las que establecen relaciones contractuales. En la Figura 15.2.3 se muestra la evolución de la producción primaria de soya 2005-2022, en Venezuela.

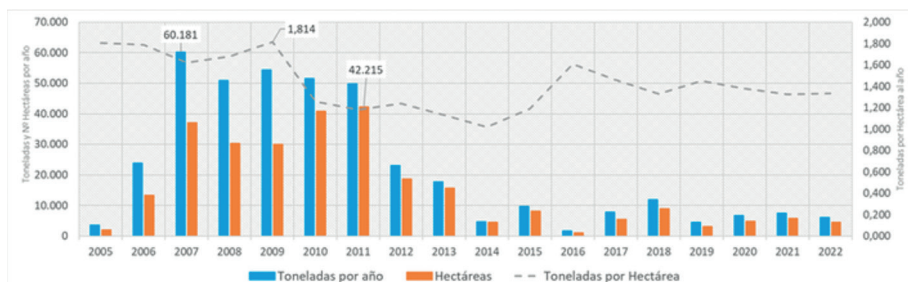


Figura 15.2.3. VENEZUELA. Producción Primaria de Soya 2005-2022. FUENTE: FAOSTAT, página web: <https://www.fao.org/faostat/es/#data>. ONUDI cálculos propios.

Históricamente, el 98% de la producción del cultivo de soya, se concentra en los estados Anzoátegui y Monagas. En términos relativos dentro de Venezuela, tanto en hectáreas como en rendimiento, los productores de estos estados son considerados grandes productores, representados por brasileros y venezolanos, con experiencia, conocimientos y cultura agronómica en el cultivo adoptados de Brasil. Además de soya, estos productores siembran maíz amarillo y frijoles.

Asimismo, los productores de los estados Barinas, Cojedes, Guárico, Lara, Portuguesa y Yaracuy, son considerados pequeños productores, quienes en su mayoría no dedican todas sus tierras a sembrar soya, se han caracterizado por sembrar principalmente arroz, maíz, caña de azúcar, frijoles y de manera no recurrente soya, recientemente en los estados Cojedes, Portuguesa y Guárico están sembrando arroz y soya, así como maíz y soya, como Sistema de Producción, para aprovechar las bondades de la rotación de estos cultivos. También han tenido la formación de los productores brasileros mediante asesorías especializadas, de FUNDARROZ, FONDESOYA, FLAR y la ONUDI en Sistemas de Producción arroz/soya.

Cabe destacar, que la producción primaria de soya en Venezuela solo ha alcanzado a satisfacer, como promedio de los últimos 20 años, cerca del 1% de los requerimientos de soya en el país.

La primera transformación agroindustrial, se refiere al procesamiento o extrusión del grano de soya. Consiste en el tratamiento que se le da al grano de soya para obtener dos subproduc-

tos principales: a) El aceite crudo de soya que pasa a la siguiente etapa de refinación, o ser destinado a las empresas de Alimentos Balanceados para Animales (ABA) y b) La torta o harina de soya, así como la cascarilla, que se destinan a las empresas ABA.

La materia prima, que se utiliza en este segundo eslabón de la Cadena de Valor, es el grano de soya con cascarilla, que puede ser tratado de dos formas: a) Extracción mecánica/química de los subproductos que durante su procesamiento alcanza, aproximadamente, los siguientes rendimientos: 72% harina, 17% aceite, 3% cascarilla y 8% de pérdidas; b) Tratamiento térmico a los granos de soya, para la desactivación de los anti-nutrientes contenidos en los mismos, obteniendo de este proceso SOYA FULL-FAT, que se utiliza entero para la preparación de algunos alimentos para animales. En la Figura 15.2.4, se presenta la ubicación de las empresas y las capacidades operativas en Venezuela, en valores de toneladas por mes y por empresa.

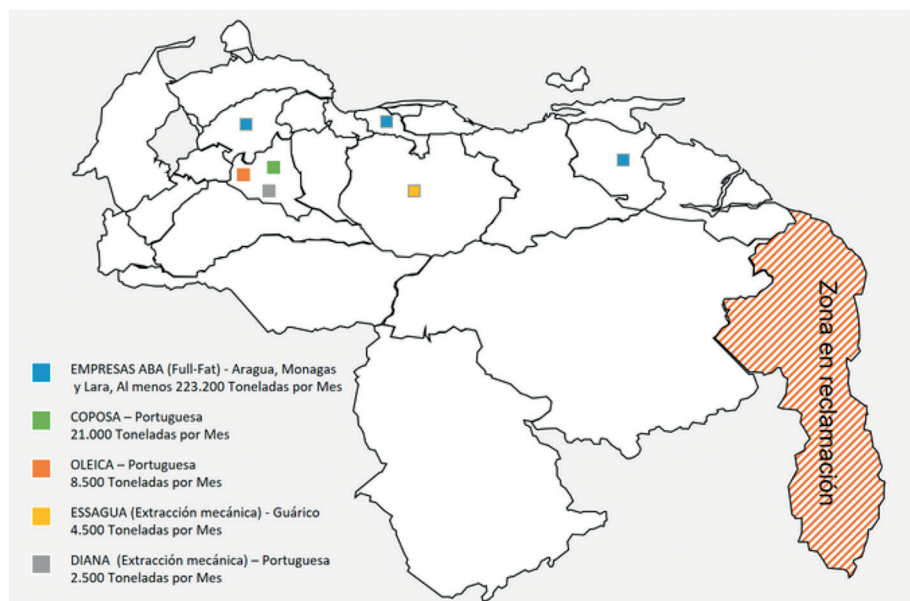


Figura 15.2.4. VENEZUELA. Ubicación empresas y capacidad operativa, primera transformación agroindustrial. Fuente: Ministerio del Poder Popular para Agricultura y Tierras y empresas. Datos sujetos a revisión. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), elaboración propia, mayo 2024.

La segunda transformación agroindustrial, se refiere al procesamiento que se les da a los principales subproductos de la soya, torta/harina y aceite crudo, para la obtención de productos finales como son: alimentos balanceados para animales (ABA) y aceite vegetal para consumo humano.

Las empresas ABA, el proceso que realizan en sus plantas consiste en la formulación de alimentos balanceados para pollos, cerdos, ganado vacuno y aves ponedoras de huevo, donde utilizan como parte de sus insumos la torta/harina, así como el aceite crudo, de soya. Son los principales demandantes de la torta/harina de soya, la cual representa su insumo estrella, por su alto valor proteico. En la Figura 15.2.5 se presenta la ubicación y las escalas de producción de las empresas ABA en Venezuela, en toneladas por mes.

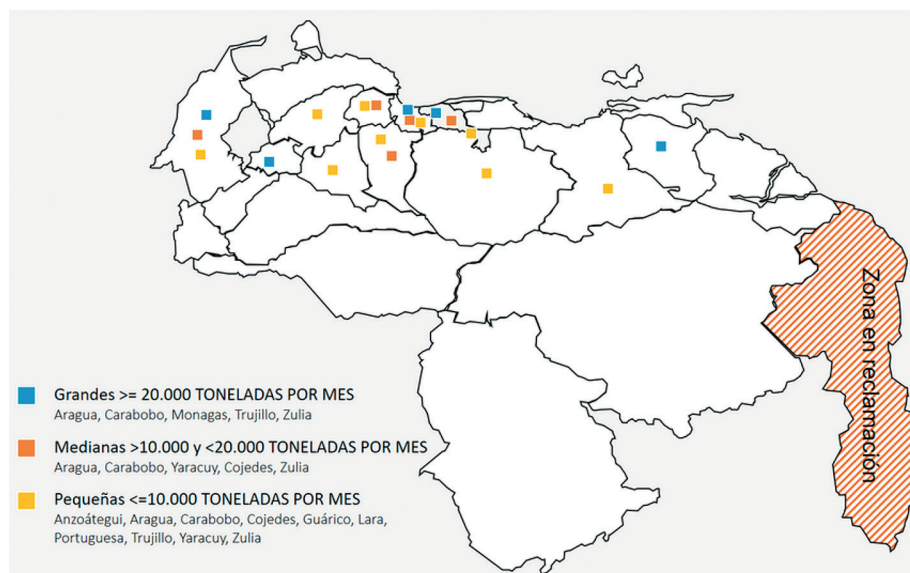


Figura 15.2.5. VENEZUELA. Ubicación empresas ABA y escala de producción, segunda transformación agroindustrial. Fuente: Ministerio del Poder Popular para Agricultura y Tierras y empresas. Datos sujetos a revisión. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), elaboración propia, mayo 2024.

Las empresas refinadoras de aceite crudo de soya, el proceso que realizan consiste en remover del aceite crudo componentes como color y sabores característicos. Esto se hace mediante el

proceso de refinación alcalina, seguido del proceso de blanqueo con arcillas activadas y, por último, el proceso de desodorizado. Al producto final, para consumo humano, se le conoce como “Aceite Vegetal Comestible RBD”, por las siglas de los procesos (Refinación, Blanqueado y Desodorizado). Durante el proceso de refinación se alcanza alrededor de un 6% de pérdidas. Una tonelada de aceite refinado equivale a 867 litros.

En la Figura 15.2.6, se presenta la ubicación de las empresas en Venezuela y su capacidad operativa en toneladas por mes. Las empresas COPOSA, OLEICA y DIANA, se encuentran integradas verticalmente, al disponer de plantas que realizan la primera y segunda transformación agroindustrial. El Grupo MI MESA y GRASACA son exclusivamente refinadoras (segunda transformación agroindustrial). Las empresas que se encuentran integradas, pueden utilizar en su proceso productivo el aceite crudo proveniente de la primera transformación agroindustrial. Estas empresas, prefieren utilizar el aceite crudo, en sus propias plantas refinadoras, en lugar de venderlo a terceros.

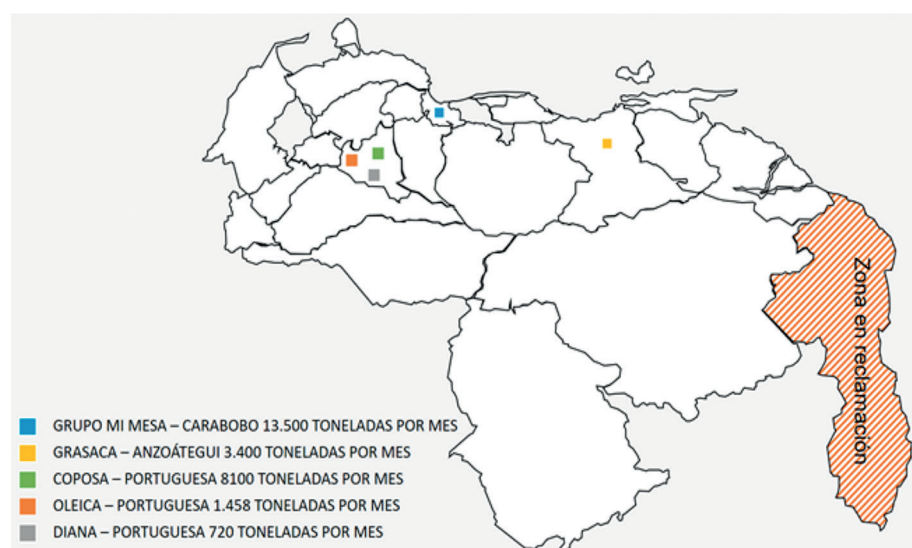


Figura 15.2.6. VENEZUELA. Ubicación empresas refinadoras de aceite crudo y capacidad operativa, segunda transformación agroindustrial. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), elaboración propia, mayo 2024.

Cabe destacar que, dado el bajo nivel de producción primaria de soya, los eslabones de la primera y segunda transformación agroindustrial, operan principalmente con materia prima importada (Figura 15.2.7).

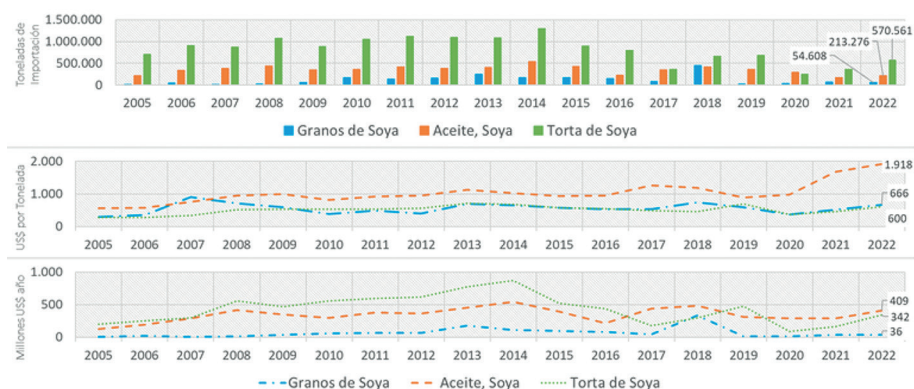


Figura 15.2.7. VENEZUELA. Importaciones de soya 2005-2022. Fuente: FAOSTAT, página web: <https://www.fao.org/faostat/es/#data>. ONUDI cálculos propios.

A consecuencia, del contexto económico de Venezuela, en los últimos años, se ha limitado la capacidad de importación de estas empresas, lo cual ha puesto en evidencia la vulnerabilidad de su producción, afectando los niveles de operatividad, teniendo que utilizar recursos propios en divisas, los cuales resultan insuficientes para mantener los volúmenes de producción, que habitualmente venían realizando, traducándose esto en una baja oferta de sub-productos y productos finales, necesarios para la producción de alimentos.

Adicionalmente, al estimar los requerimientos de granos de soya en Venezuela, sumando la producción interna y las importaciones equivalentes en granos de soya (Figura 15.2.8), se observa la existencia de un mercado potencial para la producción primaria de soya, que contribuiría con la reactivación económica, mayor producción de alimentos, así como mayor soberanía y seguridad alimentaria.

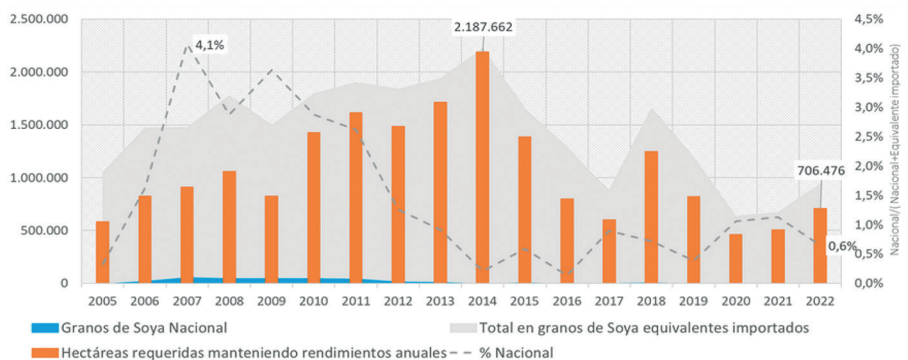


Figura 15.2.8. VENEZUELA. Estimación demanda de soja 2005-2022. Fuente: FAOSTAT, página web: <https://www.fao.org/faostat/es/#data>. ONUDI cálculos propios.

La comercialización, se refiere a las acciones que realizan las empresas, de la Cadena de Valor, para poner a la venta los productos resultantes de sus procesos productivos, mediante la búsqueda de todas las vías posibles de distribución para llegar al consumidor final. Los segmentos de mercado que atienden son: grano de soja con cascarilla (demanda empresas procesadoras y empresas ABA); harina de soja (demanda empresas ABA); aceite crudo de soja (demanda empresas ABA y empresas refinadoras); aceite, margarina y mantecas (demanda de aceites y grasas). También se comercializan en los mercados mayoristas, minoristas y tiendas agrícolas, los productos finales obtenidos como: aceite vegetal para consumo humano y alimentos balanceados para pollos, cerdos, ganado vacuno y aves ponedoras de huevos (Figura 15.2.9).

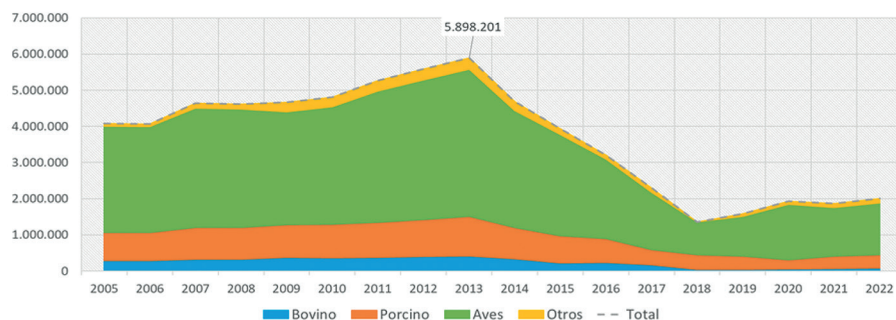


Figura 15.2.9. VENEZUELA. Comercialización - Producción de ABA en Toneladas por año 2005-2022. FUENTE: Asociación Venezolana de Fabricantes de Alimentos Concentrados para Animales (AFACA).

El mercado, es el espacio donde los consumidores finales adquieren los productos de la Cadena de Valor Agroindustrial de la Soya, como son: aceite vegetal, huevos, carnes de pollo, cerdo y vacuna. En los últimos 10 años, a consecuencia del contexto económico, que impactó el poder adquisitivo de los venezolanos, se presentó una caída de los consumos per cápita de proteínas, que afectó de manera importante la producción en la agroindustria (Figura 15.2.9), al ver restringida la colocación de sus productos en los mercados finales (Figura 15.2.10).

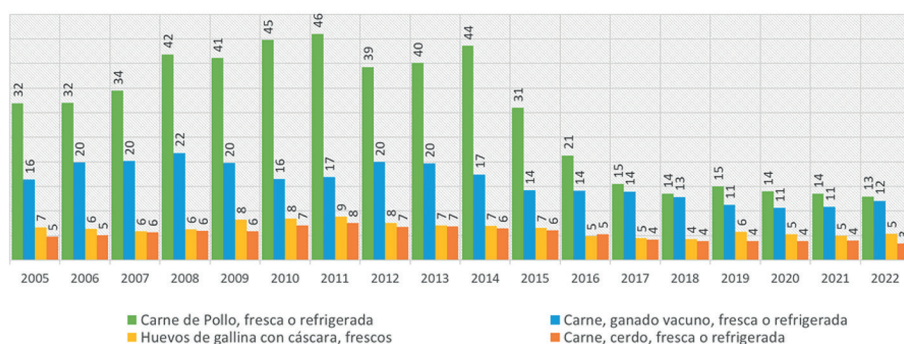


Figura 15.2.10. VENEZUELA. Mercado - Consumo per cápita de proteínas en kilogramos por persona año 2005-2022. Fuente: FAOSTAT, página web: <https://www.fao.org/faostat/es/#data>, Instituto Nacional de Estadísticas (INE). ONUDI cálculos propios.

15.3. Cadena de valor agroindustrial del arroz

La Cadena de Valor Agroindustrial del Arroz cuenta con varios actores, entre ellos: productores, la industria procesadora, los comercializadores. Los actores realizan las diferentes funciones de los eslabones de la cadena de valor, algunos de los actores en la cadena de valor participan en más de una función de manera integrada y de forma vertical. Las diferentes funciones, los actores y la interrelación de los actores se pueden apreciar en la Figura 15.3.1.

Los actores de los diferentes eslabones de la Cadena de Valor del Arroz, se caracterizan por ser públicos y privados.

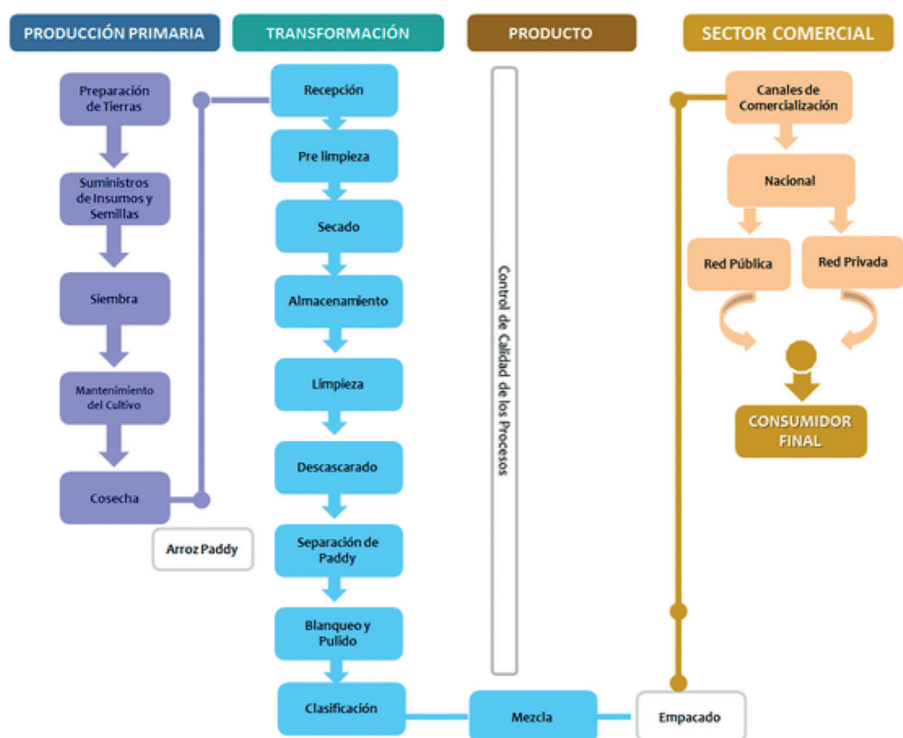


Figura 15.3.1. Actores de los diferentes eslabones de la Cadena de Valor del Arroz. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

15.3.1. Funciones de la cadena de valor

La generación y comercialización de productos industriales involucra un número de diferentes procesos de transformación, que son llevados a cabo por los actores de la cadena de valor. A través de las funciones de la cadena de valor se agrega valor y el producto se transforma. En la cadena de valor del arroz se pueden distinguir las siguientes funciones:

La producción primaria se realiza en los campos por los agricultores e incluye todas las actividades agrícolas que van desde la siembra y el cultivo hasta la fertilización, las medidas fitosanitarias y la cosecha del arroz paddy. En Venezuela, la producción de arroz se concentra principalmente en 4 estados que son: Portuguesa, Guárico, Barinas y Cojedes (Figura 15.3.1.1).



Figura 15.3.1.1. VENEZUELA. Ubicación Producción Primaria de Arroz. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

El potencial de superficie de siembra para el cultivo del arroz, según Benacchio y Avilán (1991) concluyen que el país dispone de 2.425.000 hectáreas aptas para el cultivo, de las cuales 1.016.000 hectárea deberían ser consideradas de forma prioritaria para el cultivo del arroz.

Los productores se caracterizan por agruparse en asociaciones de productores, con las que establecen relaciones contractuales. En el Figura 15.3.1.2, se muestra la evolución de la producción primaria del arroz 2005-2023, según cifras de FEVEARROZ.

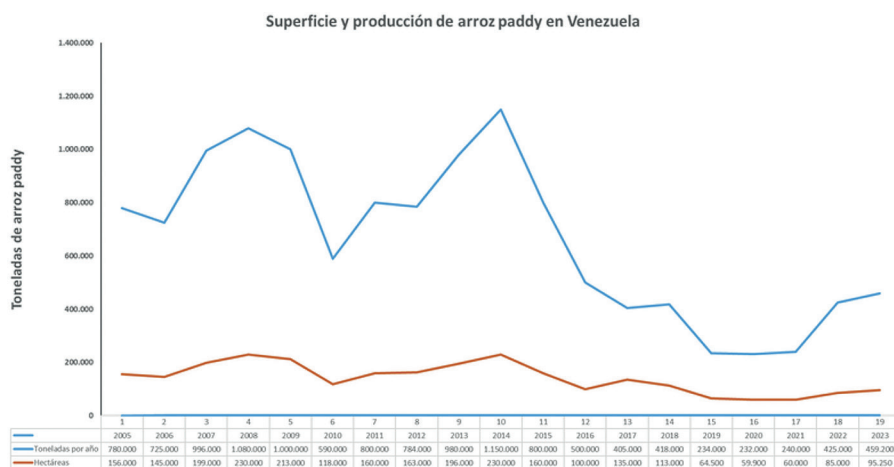


Figura 15.3.1.2. VENEZUELA. Producción Primaria de Arroz 2005-2023. Fuente: FEVEARROZ, cálculos propios junio 2024.

La mayoría de los arroceros en Venezuela son pequeños productores. Alrededor del 60 % de la producción está establecida en áreas entre 10 a 30 ha, y el resto se produce en extensiones de 100 ha en adelante. En estas últimas se involucran los medianos y grandes productores. Los productores están distribuidos de la siguiente manera: el 43 % de los productores está ubicado en el estado Portuguesa, el segundo grupo está representado por los del estado Guárico en rango porcentual del 39 % del total y finalmente los productores de Barinas y Cojedes en el orden del 18 %.

El arroz, junto al maíz, representa el cultivo agrícola de mayor tradición e importancia en Venezuela, en virtud, de que constituye uno de los componentes más fundamentales y comunes en la dieta del venezolano. A pesar de los esfuerzos realizados por los productores venezolanos, la producción nacional en la actualidad no cubre la demanda interna de consumo y los requerimientos de materia prima para la industria transformadora del arroz paddy, por lo que las industrias y Estado venezolano deben recurrir a las importaciones para cubrir el déficit.

Importación de materia prima: La importación de la materia prima (arroz paddy) es realizada en Venezuela tanto por el sector público como por las industrias privadas. En la Figura 15.3.1.3,

se puede observar según cifras espejo de Trade Map, la evolución de las importaciones en los últimos seis años, como consecuencia de la baja producción nacional de arroz paddy.

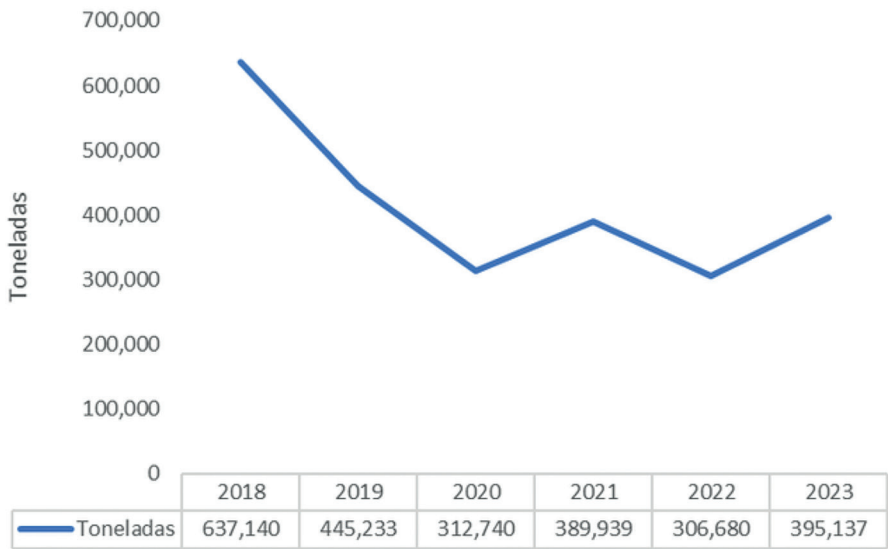


Figura 15.3.1.3,. Importación arroz paddy en Venezuela entre 2018-2023.
Fuente: Elaboración propia con datos aportados por Trade MAP (2024).

El procesamiento: Son aquellas labores de transformación que se ejecutan para obtener un producto terminado, partiendo de una materia prima. El procesamiento del arroz se realiza en tres fases: 1) el acondicionamiento; 2) el trillado que a su vez se divide en dos etapas: a) descascarado, b) pulido; y 3) el empaque. El producto final es el arroz de mesa.

El sector de procesamiento de arroz ha logrado un avance significativo en su desarrollo, debido a la creciente demanda de la población por el arroz y por la introducción de tecnologías funcionales de distintos países. Tradicionalmente, el sector se ha caracterizado por depender de la producción primaria nacional. Sin embargo, en los últimos años se han incrementado las importaciones de materia prima como consecuencia de la baja producción en campo. Tal situación ha condicionado el desarrollo de su estructura en los últimos años, y por supuesto, la configuración de

la producción y tecnología para el procesamiento, abastecimiento y distribución de este bien esencial.

En Venezuela hay un grupo de agroindustrias que se encargan de la recepción de la materia prima y que procesan materia prima nacional e importada (paddy). Este grupo es conformado por aproximadamente 58 molinos tanto públicos como privados, que están ubicados principalmente en los estados Portuguesa, Guárico, Barinas y Cojedes. la capacidad instalada corresponde a aproximadamente 1.200.000 Tm/año de arroz paddy. Sin embargo, en la actualidad se encuentra una capacidad ociosa estimada del 25 % por falta de materia prima.

En la Figura 15.3.1.4, se presentan la distribución porcentual del número de empresas por estados que participan en el sector agroindustrial del arroz a nivel nacional. Se deja observar que los estados que concentran mayor presencia de agroindustria de arroz, según orden de importancia son Portuguesa (62,16%), Guárico (29,72%), Barinas y Cojedes (8,10%), que a su vez también son los estados con las mayores áreas de producción de arroz en el país.

Localización de la agroindustria arrocera según estado

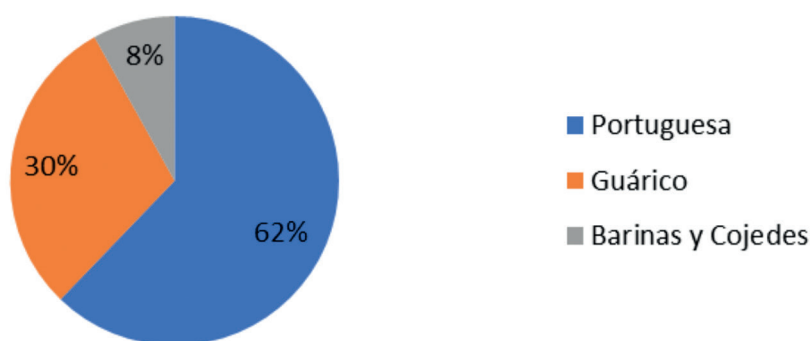


Figura 15.3.1.4. Distribución porcentual del número de empresas arroceras a nivel nacional. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUFI).

Estructura de la agroindustria arrocera según tamaño de las empresas

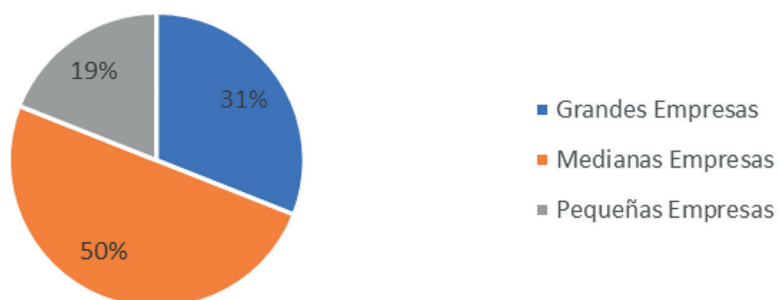


Figura 15.3.1.5. Distribución porcentual del tamaño de las empresas arroceras a nivel nacional. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

Como se indica en el Figura 15.3.1.5, el 50 % de las empresas agroindustriales son medianas empresas con capacidades instaladas de 4.000 a 6.000 toneladas, el 30,8 % son grandes empresas con capacidades instaladas mayor o igual de 7.000 toneladas y un 19,2 % son pequeñas empresas con capacidades menores de 4.000 toneladas.

Importación de producto final: La importación del producto final (arroz blanco pulido) la realizan directamente las grandes cadenas de supermercados privados, y el Estado. Según cifras de Trade Map en el año 2023 se importó un total de 78.112 toneladas de arroz listo para consumo humano.

En el siguiente Figura 15.3.1.6, se puede observar cómo desde el año 2020, viene cayendo la importación del arroz blanco pulido pasando de 326.211 toneladas hasta 78.112 toneladas en el año 2023, lo que infiere que la producción interna del arroz paddy pudiera estar recuperándose levemente.

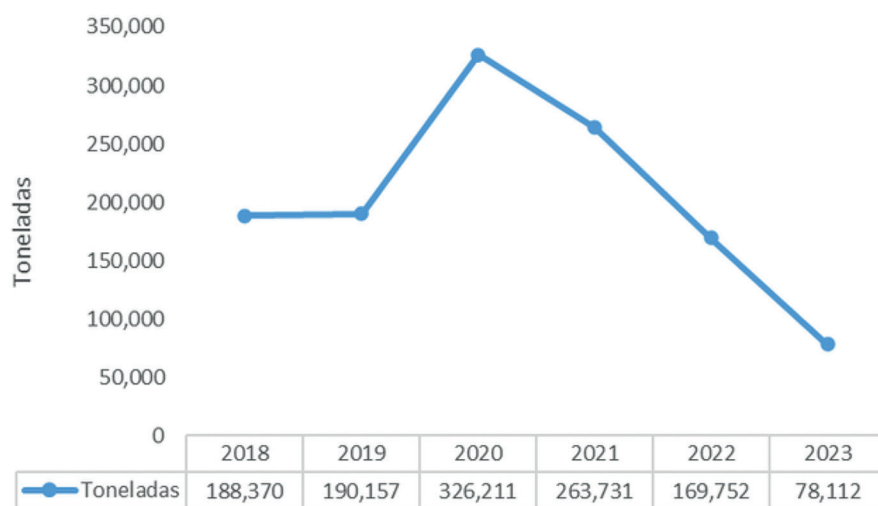


Figura 15.3.1.6. Importación arroz pulido en Venezuela entre 2018-2023.
Fuente:Elaboración propia con datos aportados por Trade MAP (2024).

Comercialización: La comercialización es el eslabón de la cadena de valor que lleva el producto al consumidor, es decir, coloca el arroz en el mercado. La comercialización puede variar con respecto al producto (arroz paddy o arroz procesado para consumo). Es llevado al consumidor final a través de las distintas redes de supermercados (por ejemplo: red de supermercados públicas y privadas, mayoristas, minoristas, etc.).

Demanda del consumidor final: El arroz representa un componente fundamental y común en la dieta del venezolano. Constituye una de las fuentes de calorías más importantes para la población. El arroz se comercializa en todos los niveles, desde el mercado mayorista, detallista formal e informal, hasta las grandes cadenas comercializadoras de alimentos públicas y privadas del país.

La producción nacional no cubre la demanda interna de consumo, recurriendo a las importaciones para cubrir el déficit.

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), para el año 2017 se estimó una población de 31.431.164 de habitantes en Venezuela. Con un consumo de arroz per cápita de 22,5 kg/per/año, el consumo nacional total de arroz blanco corresponde

a 07.201,19 toneladas aproximadamente. Basado en estos cálculos se deja derivar que, para abastecer la demanda nacional, se requiere una superficie de siembra de 280.000 has con un rendimiento de 5.000 kg/ha promedio, una producción de materia prima de 1.414.402 toneladas, para obtener un total de producción nacional de 707.202 toneladas de arroz pulido.

En relación con las demandas actuales del mercado, se indica que, al comparar la producción nacional con las cuotas de importaciones y las tasas de crecimiento del mercado, se observa un déficit marcado para satisfacer la demanda interna del arroz. Según la información proyectada, se puede concluir la existencia de un mercado potencial creciente que demanda el suministro continuo de estos productos, tal como se presenta en la Figura 15.3.1.7.

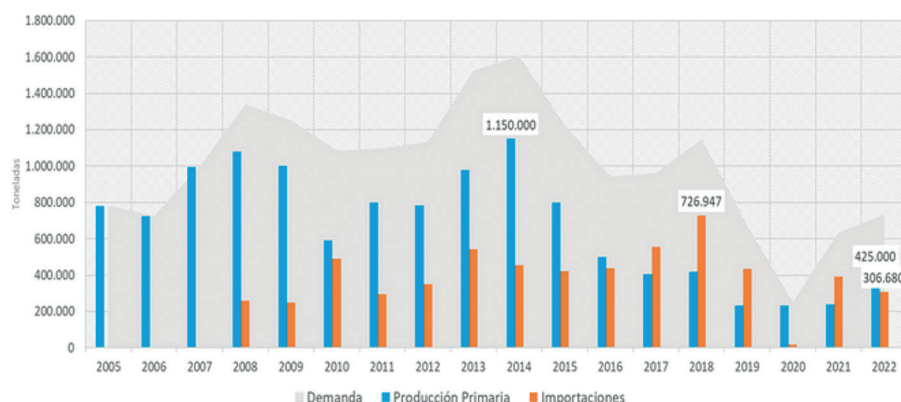


Figura 15.3.1.7. Comparación de producción nacional, importaciones y demanda. Fuente: FEVEARROZ, FAOSTAT, página web: <https://www.fao.org/faostat/es/#data>. ONUDI cálculos propios.



16. Consideraciones finales

En Venezuela es posible producir 4 toneladas de soya (temporada de lluvia) y 8 toneladas de arroz (temporada seca).

Intensificando el sistema de producción arroz-soya es posible producir 1 millón de toneladas de arroz y 611 mil toneladas de soya en Venezuela.

Referencias bibliográficas

Baghel, R.; Suthar, P.; Gajaria, T.; Bhattacharya, S.; Anil, A.; Reddy, C. R. K. 2020. Seaweed biorefinery: A sustainable process for valorising the biomass of brown seaweed. *Journal of Cleaner Production*. 263. 121359. 10.1016/j.jclepro.2020.121359.

Balboa, R.G.; Sandras, V.O.; Ciampitti, I.A. 2018. Shifts in Soybean Yield, Nutrient Uptake, and Nutrient Stoichiometry: A Historical Synthesis-Analysis. *Crop Science*, 58. Barrios-Perez, C.; Okada, K.; Varón, G. G.; Ramirez-Villegas, J.; Rebolledo, M. C.; Prager,

S. D. How does El Niño Southern Oscillation affect rice-producing environments in central Colombia? *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 306, 2021, ISSN 0168- 1923.

Bastida, F. et al. 2019. Global ecological predictors of the soil priming effect. *Nat Commun* 10, 3481, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11472-7>

Breiman, L.; Friedman, J.; Olshen, R.; Stone, C. 1984. *Classification and Regression Trees*. Chapman and Hall/CRC, California.

Cassman, K. G.; Dobermann, A.; Walters, D. T.; Yang, H. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 315–358. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.040202.122858>

Cassman, K. G. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl acad. Sci. Usa* 96, (11)5952–5959, 1999. Cassman, K. G.; Grassini, P. A global perspective on sustainable intensi-

fication research. *Nat Sustain* 3, 262–268, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0507-8>.

Castilhos, R. M. V. Suprimento de potássio para o arroz alagado, em solos do RS. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 1., reunião da cultura do arroz irrigado, 22., 1999, Pelotas. Embrapa Clima Temperado, p.334-337, 1999.

CEPAL. 2023. Boletín de la Unidad de Desarrollo Agrícola aborda las heterogeneidades en acceso y alfabetización digital en la agricultura. En: <https://www.cepal.org/es/notas/boletin-la-unidad-desarrollo-agricola-aborda-heterogeneidades-acceso-alfabetizacion-digital-la>.

CEPAL. 2021. Tecnologías digitales para una revolución agrícola sostenible e inclusiva en los países en transición. En: El mercado, es el espacio donde los consumidores finales adquieren los productos de la Cadena de Valor Agroindustrial de la Soya, como son: aceite vegetal, huevos, carnes de pollo, cerdo y vacuna. En los últimos 10 años, a consecuencia del contexto económico, que impactó el poder adquisitivo de los venezolanos, se presentó una caída de los consumos per cápita de proteínas, que afectó de manera importante la producción en la agroindustria..

Chen, S. et al. 2018. Effect of various crop rotations on rice yield and nitrogen use efficiency in Paddy upland systems in southeastern China. *The Crop Journal*, Volume 6, Issue 6, Pages 576-588, <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.07.007>.

Chen X. P. et al. 2014. Producing more grain with lower environmental costs. *Nature*, 514, 486.

Devkota, K. et al. 2019. Economic and environmental indicators of sustainable rice cultivation: A comparison across intensive irrigated rice cropping systems in six Asian countries. *Ecological Indicators*. 105. 199-214. [10.1016/j.ecolind.2019.05.029](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.05.029).

Duarte Junior, A. J. et al. 2021. Rice yield potential as a function of sowing date in southern Brazil. *Agronomy Journal*, 206, 1–10. <https://doi.org/10.1002/agj2.20610>.

Duarte, Y. C. N.; Sentelhas, P. C. 2019. NASA /POWER and Daily-Gridded weather datasets- How good they are for estimating maize yields in Brazil? *International Journal of Biometeorology*. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01810-1>.

Espe, M. B. et al. 2016. Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. *Field Crops Research*, 196, 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.011>.

Evans, L. T. 1993. Crop evolution, adaptation, and yield. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Evans, L. T.; Fisher, R. A. 1999. Yield potential: Its definition, measurement, and significance. *Crop Science*, 39, 1544–1551. <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961544x>.

FAO. 2017. How to feed the world in 2050? Disponível em http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf. Acesso em 05/06/2024.

FAO. 2018. Food outlook: biannual report on global food markets (July, 2018). Rome. 169 pp. ISBN 978-92-5-130768-7.

FAO. 2019. Early Warning Early Action report on food security and agriculture (April– June 2019). Rome. 60 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FAO. 2020. Agricultura 4.0. Start. Robótica agrícola y equipos automatizados para la producción agrícola sostenible.

FAOSTAT. 2024. Crops and Livestock Trade Database. www.fao.org/faostat.

French, R.J.; Schultz, J.E. 1984. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean type environment. I. The relation between yield, water use and climate. *Aust. J. Agric. Res.* 35, 743–764. <https://doi.org/10.1071/AR9840765>.

García, G. 2020. Agricultura 4.0 aumenta la eficiencia y productividad.

Gaffney, J. et al. 2019. Science-based intensive agriculture: Sustainability, food security, and the role of technology. *Global Food Security*, v. 23, p. 236.

Gu, J. F.; Chen, Y.; Zhang, H.; Li, Z. K.; Zhou, Q.; Yu, C.; Kong, X. S.; Liu, L. J.; Wang, Z. Q.; Yang, J. C. 2017. Canopy light and nitrogen distributions are related to grain yield and nitrogen use efficiency in rice. *Field Crops Research*, 206, 74–85.

Heinemann, A. B.; Ramirez-Villegas, J.; Rebolledo, M. C.; Neto, G. M. F. C.; Castro, A. P. 2019. Upland rice breeding led to increased drought sensitivity in Brazil. *Field Crops Research*, 231, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.009>.

Hochman, Z.; Gobbett, D.; Horan, H.; Garcia, J.N. 2016. Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Res.* 197, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.017>.

Huang, S.; Pan, X.; Sun, Y.; Zhang, Y.; Huang, X.; Yu, X.; Zhang, W. 2013. Effects of long-term fertilization on the weed growth and community composition in a double-rice ecosystem during the fallow period *Weed Biol. Manag.*, 13, pp. 10-18.

Katsantonis, D.; Kadoglidou, K.; Dramalis, C.; Puigdollers, P. 2017. Rice blast forecasting models and their practical value: A review. *Phytopathologia Mediterranea*, 56(2), 187-216. Retrieved April 14, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/44809338>.

Kimati, H.; Bergamin Filho, A.; Amorim, L. 2011. Princípios gerais de controle. In: Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos, 4ed, Ceres, Piracicaba, pp.307-323.

Ladha, J.; Reddy, P. 2003. Nitrogen fixation in rice systems: State of knowledge and future prospects. *Plant and Soil*. 252. 151-167. 10.1023/A:1024175307238.

Li, T.; Angeles, O.; Marcaida, M.; Manalo, E.; Manalili, M.P.; Radanielson, A.; Mohanty, S. 2017. From ORYZA2000 to ORYZA (v3): An improved simulation model for rice in drought and nitrogen-deficient environments. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237, 246–256. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.025>.

Li, Y.; Cui, S.; Chang, S.X.; Zhang, Q. 2019. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19, 1393–1406 .

Lobell, D.; Cassman, K.; Field, C. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*. 34. 179-204. 10.1146/annurev.environment.041008.093740.

Liu, W.; Hussain, S.; Wu, L.S.; Qin, Z. G.; Li, X. K.; Lu, J. W.; Khan, F.; Cao, W. D.; Geng, M. J. Greenhouse gas emissions, soil quality, and crop productivity from a mono-rice cultivation system as influenced by fallow season straw management. *Environ. Sci. Pollut. R*, 23 (2016), pp. 315-328.

Mateo, T. 2023. Agricultura 4.0: Una revisión de tecnologías disruptivas y su impacto en la producción agrícola sostenible. Universidad de Huelva.

Meus, L. D.; Quintero, C.; Rocha Da Silva, M.; Streck, N. A.; Carvalho, I. R.; Soares, M. F.; Zamero, M.; Zanon, A. J. 2023. Assessing Flooded Rice Yield Potential and Management Factors Related to Yield Plateau in Argentina.

Meus, L. D.; Silva, M. R.; Ribas, G. G.; Zanon, A. J.; Rossato, I. G.; Fogliato, V.; Pilecco, I. B.; Ribeiro, B. S. M. R.; Souza, P. M.; Nascimento, M. F.; Poersch, A. H.; Duarte Junior, A. J.; Quintero, C. E.; Garrido, G. C.; Carmona, L. C.; Streck, N. A. 2020. Ecophysiology of Rice for Reaching High Yield , (1st ed.), Rio Grande do Sul - Brazil.

Nalley, L.; Tsiboe, F.; Durand-Morat, A.; Shew, A.; Thoma, G. 2016. Economic and Environmental Impact of Rice Blast Pathogen (*Magnaporthe oryzae*) Alleviation in the United States. PLOS ONE. 11. e0167295. 10.1371/journal.pone.0167295.

Neto, M.E.; Lara, L.M.; Oliveira, S.M.; Santos, R.F.; Braccini, A.L.; Inoue, T.T.; Batista, M.A. 2021. Nutrient Removal by Grain in Modern Soybean Varieties. Frontiers in Plant Science, 12, 615019

Ogoshi, C. et al. 2018. Effectiveness of fungicides for rice blast control in lowland rice cropped in Brazil. Tropical and Subtropical agroecosystems, v. 21, p. 505-511.

Onudi. 2019. Desarrollo En La Cadena De Arroz Informe De Progreso. Venezuela.

Ribas, G. G., et al. 2020. An update of new flood-irrigated rice cultivars in the SimulArroz model. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 55, 1–10. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2020.v55.00865>.

Ribas, G. G. et al. 2021. Assessing factors related to yield gaps in flooded rice in southern Brazil. Agronomy Journal, 113: 3341–3350.

Ribas, G. G., et al. 2016. Accumulated dry matter and grain yield in flooded hybrid flooded rice simulated with the SimulArroz model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1907–1917. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016001200001>.

Ribas, G. G.; Streck, N. A.; Duarte Junior, A.; Nascimento, M. F.; Zanon, A. J.; Silva, M. R. 2017. Number of leaves and phenology of flooded rice hybrids simulated by the SimulArroz model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1907–1917. <https://doi.org/10.1590/1807-1929>.

Ribas, G. G.; Zanon, A. J.; Streck, N. A.; Pilecco, I. B.; Souza, P. M.; Heinemann, A. B.; Grassini, P. 2021. Assessing yield and economic impact of introducing soybean to the lowland rice system in southern Brazil. *Agricultural Systems*, 188, 1–36. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103036>.

Ríos, R. 2021. Uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados en la agricultura de precisión. *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 11, núm. 4, e10, 2021. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.

Riveros, B. 2023. Transformación digital en la agricultura: superando las brechas para una producción eficiente. Editorial. Volumen 41, N° 2. Páginas 3-4 IDESIA (Chile) Junio, 2023.

Sentelhas, P. C.; Battisti, R.; Câmara, G. M. S.; Farias, J. R. B.; Hampf, A. C.; Nendel, C. 2015. The soybean yield gap in Brazil – Magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. *Journal of Agricultural Science*, 153, 1394–1411. <https://doi.org/10.1017/S0021859615000313>.

Silva, J. V., et al. 2022. Revisiting yield gaps and the scope for sustainable intensification for irrigated lowland rice in Southeast Asia. *Agricultural Systems* 198, 103383 <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103383>.

Souza, D. M. G.; Lobato, E.; Rein, T. A. Adubação Com Fósforo No Cerrado: Correção Do Solo e Adubação. Brasília, Df, 2004. 2 Ed, P. 147-167.

Swanson, B. E. Global review of good agricultural extension and advisory service practices. Food and agriculture organization of the united nations, 2008.

Tagliapietra, E.L.; Zanon, A.J.; Streck, N.A.; Balest, D.S.; Rosa, S.L.; Bexaira, K.P.; Richter, G.L.; Ribas, G.G.; Silva, M.R. 2021. Biophysical and management factors causing yield gap in soybean in the subtropical of Brazil. *Agronomy Journal*. 13, 1882–1894. <https://doi.org/10.1002/agj2.20586>.

Tseng, M.; Roel, A.; Deambrosi, E.; Terra, J. A.; Zorrilla, G.; Ricetto, S.; Pittelkow, C. M. 2020. Towards actionable research frameworks for sustainable intensification in high-yielding rice systems. *Scientific Report*, 10, 9975. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63251-w>.

Todeschini, M. H.; Milioli, A.S.; Rosa, A. C.; Dallacorte, L. V.; Panno, M. C.; Marchese, J. A.; Benin, G. 2019. Soybean Genetic Progress In South Brazil: Physiological, Phenological And Agromomic Traits. *Euphytica*, 215 (124).

Van Ittersum M. K., et al. Can sub-Saharan Africa feed itself? *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2016 Dec 27;113(52):14964-14969. doi: 10.1073/pnas.1610359113. Epub 2016 Dec 12. PMID: 27956604; PMCID: PMC5206509.

Van Ittersum, M. K.; Rabbinge, R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and qualification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52, 197–208. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00037-3).

Van Wart, J., et al. 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research*, 143, 44–55. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00037-3).

Wallach, D.; B. Goffinet. Mean Squared Error of Prediction in Models for Studying Ecological and Agronomic Systems. *Biometrics*, vol. 43, no. 3, 1987, pp. 561–73. JSTOR, <https://doi.org/10.2307/2531995>.

Willmott, Cort J. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bulletin of the American Meteorological Society* 63, 11 (1982): 1309–1313.

Winck, J. E. M., et al. 2023. Decomposition of yield gap of soybean in environment× genetics× management in Southern Brazil. *European Journal of Agronomy*, 145, 126795.

Yang J. C. 2015. Approaches to achieve high grain yield and high resource use efficiency in rice. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2, 115–123.

Yu, Q. et al. Um planeta cultivado em 2010: os mapas globais de produção agrícola em grade *Earth Syst. Ciência. Data Discuss.* em revisão, 2020. doi: 10.5194/essd-2020-11 Yuan, S. et al. 2021. A roadmap towards sustainable intensification for a larger global rice bowl. *Nature*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-401904/v1>.

Zanon, A. J.; Streck, N. A.; Grassini, P., 2016. Climate and management factors influence soybean yield potential in a subtropical environment. *Agronomy Journal*. 108, 1447–1454. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0535>.

Zhang, T. Y.; Yang, X. G.; Wang, H. S.; Li, Y.; & Ye, Q. 2016. Climatic and technological ceilings for Chinese rice stagnation based on yield gaps and yield trend pattern analysis. *Global Change Biology*, 20, 1289–1298. <https://doi.org/10.1111/gcb.12428>.

Zhou, W.; Lyu, T. F.; Yang, Z. P.; Sun, H.; Yang, L. J.; Chen, Y.; Ren, W. J. 2016. Research advances in the regulation of soil nitrogen loss by the type of nitrogen fertilizer and its application strategy. *China Journal of Applied Ecology*, 27, 3051–3058. (in Chinese).

Zhu, Z. L.; Chen, D. L. 2002. Nitrogen fertilizer use in China - Contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 63, 117–127.



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL



FUNDACIÓN
• NACIONAL •
DEL ARROZ



Se prohíbe la venta de este libro



ORGANIZADORES DEL LIBRO



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL



FUNDACIÓN
• NACIONAL •
DEL ARROZ



FLAR



GRACIAS A LOS ALIADOS PARA LA IMPRESIÓN DEL LIBRO

