

VOL V

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



EDITORA
ARTEMIS

2025

VOL V

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



EDITORA
ARTEMIS

2025



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers
Imagem da Capa	Bruna Bejarano, Arquivo Pessoal
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, Estados Unidos
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil
Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México

Prof.^a Dr.^a Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional*, Argentina
 Prof.^a Dr.^a Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
 Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
 Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
 Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal*, Canadá
 Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha
 Prof.^a Dr.^a Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
 Prof.^a Dr.^a Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia
 Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
 Prof.^a Dr.^a Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
 Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
 Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
 Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara*, México
 Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg*, Suécia
 Prof.^a Dr.^a Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
 Prof.^a Dr.^a Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
 Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
 Prof.^a Dr.^a Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
 Prof. Me. Javier Antonio Alborno, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos
 Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
 Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
 Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
 Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. José Cortez Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Díaz, Instituto Politécnico Nacional, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
 Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
 Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México
 Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
 Prof.^a Dr.^a Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
 Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
 Prof.^a Dr.^a Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
 Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
 Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal
 Prof.^a Dr.^a Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
 Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
 Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
 Prof.^a Dr.^a Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
 Prof.^a Dr.^a María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
 Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha

Prof.^ª Dr.^ª Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª M^ª Graça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*
 Prof.^ª Dr.^ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*
 Prof.^ª Dr.^ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
 Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del Pais Vasco, Espanha
 Prof.^ª Dr.^ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
 Prof.^ª Dr.^ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
 Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru*
 Prof.^ª Dr.^ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
 Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
 Prof. Dr. Sérgio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
 Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
 Prof.^ª Dr.^ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University, Russia*
 Prof.^ª Dr.^ª Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha
 Prof.^ª Dr.^ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
 Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
 Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia*
 Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León, Espanha*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E82 Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais V [livro eletrônico] /
Organizador Eduardo Eugênio Spers. – Curitiba, PR: Artemis,
2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilingue

ISBN 978-65-81701-66-6

DOI 10.37572/EdArt_211025666

1. Ciências agrárias. 2. Ciências ambientais. 3.
Sustentabilidade. 4. Agricultura sustentável. 5. Manejo de recursos
naturais. I. Spers, Eduardo Eugênio. II. Título.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

Este volume V de **Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais** reúne oito contribuições que, em conjunto, delineiam um panorama atual e propositivo dos desafios na produção agropecuária e na gestão do meio ambiente. O volume está organizado em três eixos temáticos: *Ambiente: Monitoramento e Gestão de Riscos*; *Produção Vegetal: Insumos e Melhoramento*; e *Produção Animal e Saúde Veterinária*, com o objetivo de aproximar evidências científicas, soluções técnicas e impactos socioambientais, sempre com ênfase em rigor metodológico, transparência e aplicabilidade.

O primeiro trabalho do eixo **Ambiente: Monitoramento e Gestão de Riscos** apresenta uma investigação sobre monitoramento de emissões em processos industriais do setor agroalimentar, que valida, por medições em pontos críticos da linha de produção, a conformidade com padrões regulatórios e reforça a importância de sistemas confiáveis de rastreabilidade. Em seguida, uma experiência de educação ambiental voltada à redução de riscos de inundações e deslizamentos em contexto escolar rural demonstra, com avaliação pré-pós-intervenção, ganhos expressivos em conhecimento e atitudes, oferecendo um modelo replicável de formação comunitária para a gestão do risco.

O Eixo **Produção Vegetal: Insumos e Melhoramento** articula estudos do manejo de insumos e cultivares até o zoneamento produtivo em larga escala: um ensaio agrônomo sobre o uso de silício em cafeeiros quantifica efeitos em crescimento, sanidade e qualidade sensorial, apoiando decisões de manejo nutricional; um estudo de zoneamento agroclimático com geotecnologias mapeia áreas de alto potencial produtivo para cultura energética sob irrigação, conectando planejamento territorial e bioenergia. Na sequência, uma análise de biofortificação de milho discute avanços em teores de micronutrientes e compostos bioativos, bem como desafios de adoção e oportunidades de mercado. Por fim, uma avaliação comparativa de variedades de soja sob irrigação atualiza o pacote tecnológico regional, apresentando indicadores agrônômicos e de rendimento para recomendações de cultivares.

Produção Animal e Saúde Veterinária apresenta um estudo em nutrição de pequenos ruminantes e avalia a inclusão de subproduto agroindustrial fermentado na dieta, examinando consumo, conversão alimentar e perfis de fermentação ruminal, com implicações para sustentabilidade e desempenho produtivo. Encerrando o volume, um ensaio histórico sobre uma grande epizootia bovina no século XVIII revisita práticas precoces de contenção (como limpeza de instalações, isolamento e reentrada faseada de rebanhos) e evidencia a gênese de princípios de biossegurança que permanecem atuais.

A força deste volume reside na convergência entre método e pertinência: medições em processo, ensaios de campo, geoprocessamento, avaliações nutricionais e reconstruções históricas informam decisões públicas e privadas, da gestão de emissões e planejamento territorial à escolha de insumos, cultivares e dietas, passando pela formação de comunidades para prevenção de desastres. Essa convergência é intencional: a ciência agrária e ambiental cria maior valor quando quantifica, compara e comunica com clareza.

Agradecemos às autoras e aos autores pela confiança e pela qualidade técnica dos manuscritos; às instituições de origem, pelo apoio às pesquisas; e às leitoras e aos leitores, cuja atenção crítica dá sentido a esta série. Que os capítulos aqui reunidos inspirem novas perguntas, parcerias interdisciplinares e aplicações responsáveis, no campo, na indústria, na escola e no território.

Desejo a todos uma excelente leitura!

Eduardo Eugenio Spers

SUMÁRIO

AMBIENTE: MONITORAMENTO E GESTÃO DE RISCOS

CAPÍTULO 1.....1

MONITORING POLLUTANT SUBSTANCES RELEASED BY COMPOUND FEED FACTORIES

Cristian Vasile

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256661

CAPÍTULO 2.....14

UNA MIRADA A LA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS DESDE LA CAPACITACIÓN A LA COMUNIDAD EDUCATIVA

Arturo Hernández Escobar

Yamel Álvarez Gutiérrez

Barbara Miladys Placencia López

Diana Estefanía Cedeño Bermúdez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256662

PRODUÇÃO VEGETAL: INSUMOS E MELHORAMENTO

CAPÍTULO 3.....31

EL SILICIO Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD Y LOS RENDIMIENTOS DEL CULTIVO DE CAFE

Francisco E. Restrepo Higuita

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256663

CAPÍTULO 4.....47

POTENCIAL PRODUCTIVO DE *Sorghum bicolor* L. MOECH, BAJO CONDICIONES DE RIEGO EN MÉXICO

Genovevo Ramírez Jaramillo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256664

CAPÍTULO 5.....67

MAÍCES CON ALTO CONTENIDO DE ANTOCIANINA, BIOFORTIFICADOS CON ZINC, PROVITAMINA A Y DE ALTA CALIDAD DE PROTEÍNA EN PERÚ

Luis Alberto Narro León

Alexander Chávez Cabrera
Peter Chris Piña Díaz
Fernando Escobal Valencia
Alicia Elizabeth Medina Hoyos
Teodoro Patricio Narro León
Kryss Aracely Vargas Gutiérrez
Roberto Alvarado Rodríguez
Fabian Camilo Velásquez Leveaú
Ronald Otiniano Villanueva

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256665

CAPÍTULO 6..... 96

EVALUACIÓN DE VARIEDADES DE SOYA EN EL NORTE DE TAMAULIPAS

Héctor Manuel Cortinas Escobar
Nicolás Maldonado Moreno

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256666

PRODUÇÃO ANIMAL E SAÚDE VETERINÁRIA

CAPÍTULO 7..... 101

COMPOSICIÓN Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE DIETAS CON POMASA DE MANZANA FERMENTADA EN LA ALIMENTACIÓN DE CORDEROS EN ENGORDA

Ignacio Mejía-Haro
Mauricio Ramos-Dávila
Carlos Fernando Aréchiga-Flores
Iván Mejía-Dévora
Tania Ramírez-Navarrete
José de Jesús Campos-Torres

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256667

CAPÍTULO 8..... 116

PAUL ADAMI AND THE CATTLE PLAGUE IN STYRIA, 1780

Andrej Pengov

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256668

SOBRE O ORGANIZADOR.....123

ÍNDICE REMISSIVO124

CAPÍTULO 4

POTENCIAL PRODUCTIVO DE *Sorghum bicolor* L. MOECH, BAJO CONDICIONES DE RIEGO EN MÉXICO

Data de submissão: 22/09/2025

Data de aceite: 10/10/2025

Genovevo Ramírez Jaramillo

Centro de Investigación Regional Sureste
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Mérida, Yucatán. México
<https://orcid.org/0000-0001-8931-7247>

RESUMEN: Ante el posible agotamiento de los combustibles fósiles sumado a la demanda creciente de energía, sitúan a los biocombustibles líquidos como una alternativa energética renovable, en el marco de la creciente valoración de combustibles que tengan bajo impacto en la emisión de carbono. El sorgo dulce *Sorghum bicolor* (L) Moench es una buena alternativa ya que presenta diversas ventajas en relación a otras especies vegetales. Ante el interés del Gobierno Mexicano de fomentar los biocombustibles y *S. bicolor* en particular por sus ventajas agronómicas como altos rendimientos, bajos requerimientos de suelo, humedad y nutrientes, alto contenido de azúcares fermentables solubles y poder ser procesado en ingenios azucareros, se consideró como principal objetivo el conocer y delimitar espacialmente las áreas de alto y mediano potencial productivo del sorgo

dulce en México. Para procesar y analizar la información, se utilizó el software QGIS versión 3.6. En las zonas con alto potencial, todas las variables interactúan favorablemente para el óptimo desarrollo del cultivo, mientras que en las zonas de mediano potencial, tanto los factores climáticos como los edafológicos interactúan adecuadamente con algunas limitaciones; en las zonas no aptas, todos los factores son limitantes. El estudio cuantificó más de 19 millones de hectáreas de alto potencial bajo condiciones de riego. Los estados con mayor superficie para producir sorgo dulce son: Veracruz, Campeche, Tamaulipas, Tabasco, Guanajuato, Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Michoacán, Chihuahua y Quintana Roo; sin embargo, con el suministro del riego, prácticamente se puede cultivar en todos los estados del país.

PALABRAS CLAVE: regionalización; sorgo; SIG; planificación.

PRODUCTIVE POTENTIAL OF *Sorghum bicolor* L. MOECH, UNDER IRRIGATION CONDITIONS IN MEXICO

ABSTRACT: Faced with the possible depletion of fossil fuels combined with the growing demand for energy, liquid biofuels are positioned as a renewable energy alternative, within the framework of the growing appreciation of fuels with low carbon emissions. Sweet sorghum *Sorghum bicolor* (L) Moench is a good alternative since it presents several

advantages over other plant species. Given the interest of the Mexican Government in promoting biofuels and *S. bicolor* in particular for its agronomic advantages such as high yields, low soil, moisture and nutrient requirements, high content of soluble fermentable sugars and the ability to be processed in sugar mills, the main objective was to identify and spatially delimit the areas of high and medium productive potential of sweet sorghum in Mexico. To process and analyze the information, QGIS version 3.6 software was used. In high-potential areas, all variables interact favorably for optimal crop development, while in medium-potential areas, both climatic and soil factors interact adequately, with some limitations. In unsuitable areas, all factors are limiting. The study quantified more than 19 million hectares of high-potential land under irrigated conditions. The states with the largest areas for sweet sorghum production are: Veracruz, Campeche, Tamaulipas, Tabasco, Guanajuato, Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Michoacán, Chihuahua, and Quintana Roo; however, with irrigation, it can be grown in virtually all states of the country.

KEYWORDS: regionalization; sorghum; GIS; planning.

1. INTRODUCCIÓN

El ritmo acelerado de las grandes urbes a lo largo del mundo, requieren de una gran demanda energética, proporcionada principalmente por combustibles fósiles; lo cual genera contaminación al medioambiente y por consecuencia el agotamiento de esos combustibles.

Por lo tanto, explorar la energía renovable de diferentes fuentes es el foco de la investigación actual (Kumar *et al.*, 2010). Los biocombustibles son una alternativa energética al ser considerados fuente de energía renovable (Anglani, 1998); una de estas fuentes es el bioetanol que favorece el medio ambiente, la economía y la sociedad (Montiel, 2010). Este biocombustible se produce de una gran gama de cultivos, como maíz, trigo, cebada, caña de azúcar, yuca, camote, remolacha azucarera, sorgo dulce, entre otros (Drapcho *et al.*, 2008). Y más recientemente con plantas oleaginosas, no comestibles, las cuales no compiten directamente con los alimentos, como la *Jatropha curcas* (Errasti *et al.*, 2013).

A pesar de contar con una amplia diversidad de cultivos con potencial para producir biocombustibles, el cultivo más utilizado es el sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]; debido a sus amplias cualidades como: se puede cultivar en todo el mundo bajo diversas condiciones agroclimáticas, requiere 36 % menos nitrógeno (Ratnavathi *et al.* 2011) y agua en comparación con la caña de azúcar y maíz y produce más etanol por hectárea por unidad de tiempo (Geng *et al.* 1989; Reddy *et al.* 2005), es tolerante a sequía, salinidad, altas temperaturas (Murray, 2008; Chuck *et al.*, 2011) y suelos inundados (Almodares *et al.*, 2007); es de ciclo de crecimiento corto y presenta amplia adaptación.

Sorghum bicolor, es una gramínea de fotosíntesis C4, las cuales forman compuestos de cuatro carbonos (Khawaja *et al.*, 2014), que acumula grandes cantidades de azúcares fermentables en el tallo y de biomasa, posee amplia adaptabilidad y tolera condiciones adversas de producción, además su siembra es factible en áreas no aptas para otros cultivos (Ratnavathi *et al.* 2011, Calviño y Messing 2012). Por lo anterior se puede utilizar para la producción de azúcar refinada, alcohol y gasolina, entre otros (Díaz Franco, 2016).

En México, el gobierno federal promueve la elaboración de biocombustibles sin descuidar la seguridad alimentaria y el aprovechamiento eficiente de la materia prima derivada de las actividades agrícolas, forestales y pecuarias; así como aquella derivada de algas y procesos enzimáticos y biotecnológicos. Como parte de una planeación estratégica 2017-2030 de cultivos bioenergéticos se consideraron tres cultivos prioritarios para su fomento en el país: higuera *Ricinus communis* y piñón *Jatropha curcas* L., para biodiesel y el sorgo dulce para bioetanol (SAGARPA, 2017). Sin embargo, el sorgo dulce en el país no logra el potencial deseado, esto al considerarse los rendimientos de sorgo como forraje verde logrados en los ciclos P-V y O-I en 2018 en la República Mexicana fueron de 20 y 17 t/ha respectivamente, los cuales son muy bajos al comparar los potenciales que se reportan en sorgo dulce de los materiales evaluados por el Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas Y Pecuarias (Montes, 2013) en el estado de Tamaulipas, donde la variedad Fortuna reporta 99.12 t/ha de biomasa (73.5 t/ha de tallos) en el ciclo P-V 2009 y esta misma variedad en el ciclo O-I 2008-2009 bajo condiciones de riego obtiene 127 t/ha de biomasa (94.7 t/ha de tallos).

Ante este panorama y el interés mostrado en 2017 por el Gobierno Federal de ampliar la superficie de sorgo dulce en el país y los bajos rendimientos que se tienen actualmente en el país, se consideró necesario determinar en donde existe el potencial productivo para producir sorgo dulce.

2. EL SORGO DULCE

El sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] es una planta que tolera algunas condiciones agroclimáticas extremas como: sequía, altas temperaturas, inundaciones, salinidad del suelo y toxicidad por acidez (Almodares y Hadi, 2009). Además, posee amplia adaptabilidad, rápido crecimiento y alta acumulación de azúcar. Es una materia prima alternativa, la cual puede sustituir el uso de la caña de azúcar en la producción de etanol. El sorgo dulce es nativo de África y muchas de las variedades conocidas actualmente, fueron generadas en ese continente. En China su cultivo se inicia durante el siglo XIII y

posteriormente se produjo en el hemisferio occidental. El sorgo dulce fue introducido a los Estados Unidos de América después del siglo XVII, sin embargo, no creció extensivamente en este país hasta 1850, cuando se lo llevaron del Continente Europeo.

Al ser un cultivo que tolera algunas condiciones extremas, por lo general no compete con los granos básicos, ya que se puede sembrar en áreas no aptas para otros cultivos y ofrece en algunos casos grano y forraje, siendo el tallo el principal órgano que se aprovecha, el cual presenta un alto contenido de azúcar (Almodares y Hadi, 2009). Con el sorgo dulce se puede hacer azúcar refinada (Rajvanshi *et al.*, 1993), techos, papel y miel (Schaffert, 1992). Uno de los principales usos de los sorgos dulces ha sido su amplia utilización en la producción de alimentos balanceados (Undersander *et al.*, 1990). El sorgo dulce puede ser transformado biológicamente en alcohol etílico de primera generación, etanol celulósico, para producir energía propia (House *et al.*, 2000; Lemus y Parrish, 2009) o como aditivo (Schaffert y Gourley, 1982).

El tallo del sorgo dulce concentra grandes cantidades de azúcar (Harlan y de Wet, 1972; Vietor y Miller, 1990); estas cantidades pueden ser similares o más altos que los de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*), aunque el mecanismo de acumulación del azúcar es diferente (Lingle, 1987; Tarpley y Vietor, 2007).

3. EL POTENCIAL PRODUCTIVO

El potencial productivo de las especies vegetales de acuerdo con (Pereira, 1982) consiste en identificar las áreas o superficies agrícolas en las que se cubran los requerimientos agroecológicos por parte de los cultivos agrícolas; esto es determinar los ambientes adecuados para un óptimo desarrollo de la especie motivo de estudio, que en este caso fue el sorgo dulce.

El potencial productivo de las especies vegetales se refiere a la capacidad inherente de una planta, o de un cultivo en un lugar específico, para producir una gran cantidad de biomasa o rendimiento bajo condiciones óptimas. Este potencial no solo depende de la genética de la planta, sino también de factores ambientales como el suelo, el agua, el clima y la luz, así como de las prácticas de manejo agrícola.

El determinar el potencial productivo de una o diversas especies vegetales, puede contribuir a las siguientes acciones:

1. **Zonificación agrícola:** Permite identificar las áreas más adecuadas para el cultivo de ciertas especies, asegurando que los requerimientos agroecológicos de la planta se cumplan para un desarrollo óptimo.

- 2. Planificación y toma de decisiones:** Los agricultores y las instituciones del sector agropecuario pueden usar esta información para decidir qué cultivos implementar, optimizar el uso de recursos y llevar a cabo acciones de investigación y transferencia de tecnología en determinadas regiones.
- 3. Sostenibilidad:** Al seleccionar especies vegetales adecuadas para cada zona y aplicar prácticas de manejo correctas, se garantiza que el cultivo no deteriore el suelo ni afecte el equilibrio natural.

La determinación del potencial productivo de especies vegetales, se inició en el marco de un proyecto nacional ejecutado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Medina *et al*, 1997).

Estos trabajos no son estáticos, sino que, conforme se cuenta con mayor o más precisa información, en formato digital para su uso en la computadora por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se puede generar nuevos mapas de las áreas con potencial de producción alto, de mayor resolución y precisión.

Para obtener las áreas potenciales, se utiliza la metodología de sobreposición de imágenes de los requerimientos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica hasta obtener las áreas potenciales (Medina *et al*, 1997). Los SIG más utilizados son el Arc/Gis, QGIS e Idrisi.

4. POTENCIAL PRODUCTIVO DE SORGO DULCE

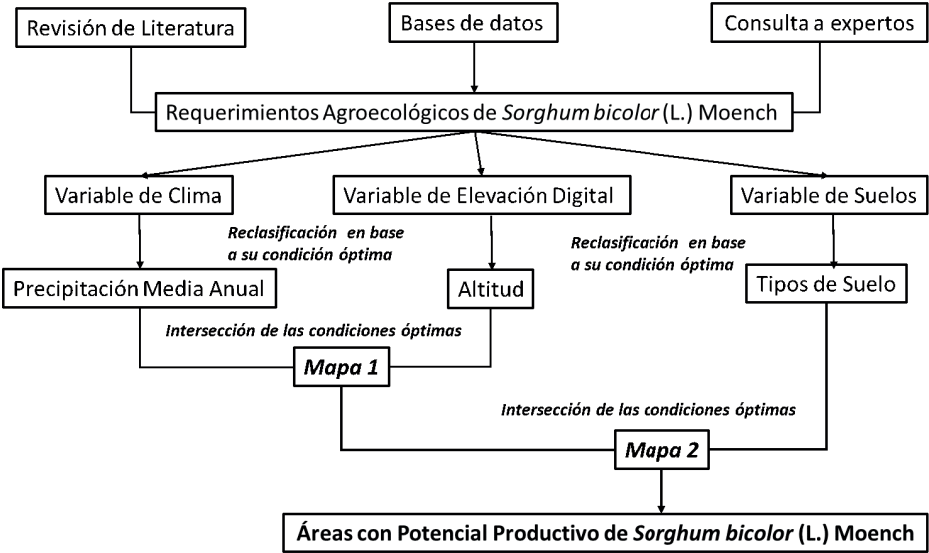
La determinación espacial de áreas óptimas, sub-óptimas y no aptas de un cultivo se puede realizar usando diferentes metodologías, sin embargo, en este caso se hizo basándose en el uso de álgebra de mapas, tomando como variables de entrada los requerimientos agroecológicos del cultivo en México. La utilización de Sistemas de Información Geográficos (SIG), como una herramienta orientada al desarrollo y ordenamiento agrario, ha sido un método acertado en la determinación espacial de las zonas óptimas para el desarrollo de un cultivo (Kahsay *et al.*, 2018).

Por medio de los SIG's, se puede manejar las variables agroecológicas que representan al medio físico en donde se desarrolla una actividad, tales como clima, suelo y recurso hídrico, y partiendo de la variación espacial de estas, definir áreas óptimas y sub óptimas en donde un cultivo se puede desarrollar adecuadamente.

El principal aporte de estos mapas es facilitar la gestión adecuada de los recursos y de esta manera apoyar a los responsables de las políticas públicas en el ordenamiento y planificación agrícola, partiendo de la identificación de las áreas con potencial para la producción de cultivos, en función de las condiciones locales, agroclimáticas y edáficas, del territorio nacional.

Para la determinación de áreas con aptitud agroclimática se consideraron tres aspectos fundamentales que fueron: determinación de los requerimientos agroecológicos, bases de datos de las variables agroclimáticas y su procesamiento a través de un Sistema de información Geográfica (Figura 1).

Figura 1. Esquema metodológico para determinar el potencial productivo de sorgo dulce.



4.1. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS

El crecimiento, desarrollo y producción de *Sorghum bicolor* (L.), están estrechamente relacionados con las condiciones de clima y suelo de la zona donde se cultiva. Los factores climáticos influyen en la producción de una plantación; por lo tanto, las condiciones térmicas y de humedad deben ser satisfactorias para el cultivo durante su periodo vegetativo como: la época de floración, brotes, fructificación y cosecha están regulados por los factores medioambientales. La información agroecológica fue integrada en base a diferentes fuentes bibliográficas (Assefa *et al*, 2010; Dial, 2012; Kahsay *et al*, 2018; Moore *et al*, 2017, FAO, 2014). Por otro lado, también se tomó en consideración la experiencia de algunos expertos en el cultivo (Ruiz *et al*, 2017).

Las principales variables consideradas para la regionalización son: temperatura media anual, altitud, horas luz, tipos de suelo, textura, profundidad, pH y drenaje. En cada una de las variables se planteó un rango óptimo, subóptimo y el no apto (Tabla 1).

Tabla 1. Requerimientos agroecológicos de sorgo dulce.

Criterio	Unidad	Óptima	Sub óptima	No Apta
Temperatura Media Anual	°C	25-30	20-25 30-35	Menor de 20 Mayor de 35
Altitud	msnm	0-1000	1000 - 1200	Mayor de 1200
Suelo	Clase	Fluvisoles Regosoles Luvisoles Nitisoiles Andosoles Phaeozem Kastañozems	Cambisoles Gleysoles, pendiente >5% Vertisoles, pendiente >5% Calcisoles	Solonchak's Leptosoles Gleysoles, pendiente <5% Vertisoles, pendiente <5% Arenosol
Textura	Tipo	Media	Ligera	Pesada
Profundidad	m	Mayor de 1	1 a 0.5	> de 0.50
pH		6 a 7	7.1 a 8.0	< de 5.5 > de 8.0
Horas luz	Horas luz	3000	2500 a 3000	< de 2500
Drenaje	Tipo	Bueno	Medio	Deficiente

Fuente: Elaboración propia en base a la metodología propuesta.

4.2. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN ESPACIAL

Se consideraron varias bases de datos geoespaciales. La información edáfica, fue tomada de la base de Referencia Mundial del Recurso Suelo, conocida por sus siglas en inglés como WRB, publicada por la FAO (2007), en formato vectorial y escala 1: 250,000. Los datos climáticos se tomaron de la base de WorldClim versión 2.0 con datos de 30 segundos (~1 km²), específicamente temperatura y precipitación promedio durante el ciclo del cultivo. El Modelo Digital de Elevación (MDE), se obtuvo del Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI), en formato raster con una resolución de 90 x 90 (8,100 m²). El mapa de pendiente se generó en base al MDE de INEGI, cuerpos de agua se extrajo de las cartas topográficas 1: 50,000 de INEGI, el área de manglares se obtuvo de las cartas de uso del suelo y vegetación de INEGI en escala 1: 250,000, áreas urbanas y rurales de México 2010 de INEGI en 1: 250,000, así como áreas naturales protegidas de 2010 en resolución 1: 250,000. Esta cartografía se obtuvo del Geoportal del sistema nacional de información para la biodiversidad de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

4.3. PROCESAMIENTO DE DATOS

Se entiende por álgebra de mapas al conjunto de técnicas y procedimientos que, operando sobre una o varias capas en formato raster, y/o vectorial, nos permiten obtener información derivada, generalmente en forma de nuevas capas de datos. Para este caso, los procedimientos que se aplicaron sobre la información geográfica en formato vectorial, consistieron básicamente en clasificar los atributos climáticos y edáficos en los rangos agroecológicos establecidos para las condiciones de riego.

Los datos vectoriales son entidades asociadas a cada atributo, y tienen sus propias características espaciales, y la geometría que definen a cada atributo sirve por sí sola para llevar a cabo numerosos análisis, como cortes e intersecciones. Estas operaciones geométricas sobre datos vectoriales consistieron en interceptar las capas edáficas y climáticas, para posteriormente eliminar las áreas que correspondían a manglar, áreas protegidas, y asentamientos urbanos y rurales. Todo el procesamiento y reclasificación de la información se realizó en el software QGIS 3.6.0 Noosa (QGIS Development Team, 2019).

Las zonas de alto potencial son aquellas en donde interaccionan todas las variables agroclimáticas en su condición óptima para que el cultivo se desarrolle en forma competitiva; las zonas de mediano potencial son aquellas en donde alguna de las variables agroclimáticas presenta alguna condición subóptima o no apta para que el cultivo se desarrolle con las menores limitantes posibles; las no aptas es donde interaccionan todas las condiciones limitantes para que se desarrolle el cultivo. Para identificarlas en el mapa se le pone un color a cada una de las categorías de alto y mediano potencial y se deja sin color toda el área no apta.

5. RESULTADOS

5.1. TEMPERATURA

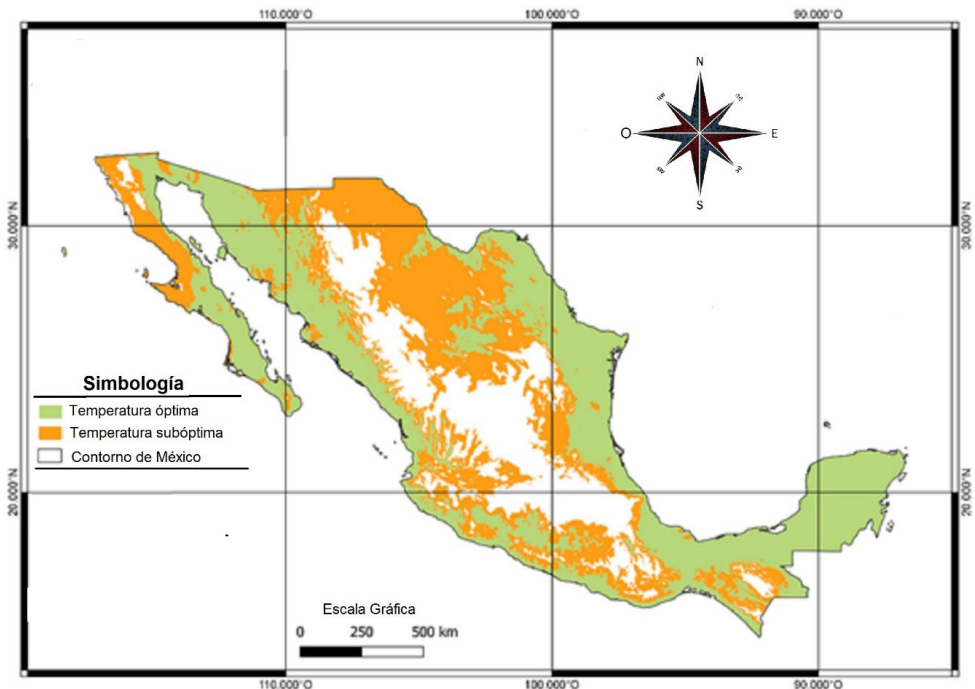
El sorgo dulce se puede cultivar en gran parte de la república mexicana, sin embargo, existe una mayor afinidad por establecerse en las costas, especialmente en el golfo de México (Figura 2). Esta planta se desarrolla bien en condiciones de clima cálido, con lluvias moderadas y bien distribuidas; de acuerdo a Pérez, 2010; el rango ideal de temperaturas se debe encontrar por encima de 18°C para germinar y crecer adecuadamente (Neild *et al.*, 1983).

Debido a su origen tropical, el sorgo se adapta bien a temperaturas que oscilan entre los 20 y 40°C. Temperaturas fuera de este rango provocan la aceleración de la antesis, aborto de flores y de los embriones.

La temperatura óptima de crecimiento es de 26.7 °C hasta 29.4°C. Las temperaturas superiores a los 38°C, son dañinas, a pesar de que esta planta tolera el calor y la sequía mejor que el maíz (Baradas, 1994). Otros autores como Acuña *et al.*, (2002), aseguran que, a temperaturas de 24°C a 30°C, se puede desarrollar muy bien la planta. Cuando este cultivo está en fase de germinación necesita temperaturas de 12 a 13°C, por tanto, temperaturas inferiores a estas se consideran no aptas, ya que el crecimiento de la planta se activa cuando estas sobrepasan los 15°C, con el óptimo alrededor de los 32°C (Dial, 2012).

Una disminución en la temperatura en el momento de la floración puede reducir el rendimiento del grano, además de producir esterilidad de las espiguillas y afectar también la viabilidad del grano de polen (Assefa, 2010). Por otro lado, temperaturas muy altas (mayores a 38°C) días posteriores a la floración reducen el peso final del grano y produce aborto de sus flores (Pérez, 2010); mientras que, a 27°C, han encontrado que es su temperatura optima, y 21°C, la temperatura mínima para un buen crecimiento (Correa, 2000). La temperatura está relacionada con la época de siembra, pues las altas temperaturas aumentan las pérdidas, por coincidir con su período reproductivo (Correa, 2000).

Figura 2. Temperatura optima y sub optima requerida por el cultivo de sorgo, en México.



5.2. REQUERIMIENTOS DE RIEGO

A nivel nacional, el sorgo se produce en condiciones de riego y temporal; durante el período 2012-2016, el 35.5% del área total de sorgo cosechada en México fue bajo condiciones de riego, produciendo el 47.3% de la producción total con un rendimiento promedio de 4.9 Mg ha⁻¹, mientras que 64.5% de la superficie total cosechada de sorgo se sembró bajo condiciones de temporal, lo que produjo un 52.7% de la producción total con un rendimiento promedio de 3 Mg ha⁻¹ (López Avendaño et al., 2019). Investigaciones como las de Alhajturki et al., (2012), reportan 29% mayor producción de azúcar en diversos sorgos evaluados en condiciones de temporal que en riego.

No obstante, el sorgo dulce se adapta a diferentes condiciones de humedad, por lo que el agua de lluvia es suficiente para completar su ciclo vegetativo, sobre todo en el trópico subhúmedo (Álvarez et al., 2017), donde se alcanzan precipitaciones entre los 700 y 1600 mm anuales, pero en aquellas áreas donde el temporal es errático y menor a los 700 mm anuales; es importante auxiliar con riego, sobre todo en las etapas de emergencia, desarrollo vegetativo, encañe y hoja bandera de acuerdo con estudios realizados por el INIFAP, en el Campo Experimental Valle de Mexicali (Alvarado, 2015), además cuando sea necesario se recomienda aplicar un riego de 10 cm de lámina antes de la siembra, para asegurar humedad en esta etapa, posteriormente continuar con dos riegos de auxilio de 20 cm de lámina cada uno, siendo el primero a los 40 días después de la siembra y el segundo a los 65-70 días después de la siembra (Montes et al., 2013; Pecina et al., 2017).

También en ambientes más secos, es mayor la producción de azúcar (Almodares y Hadi, 2009). Se encontró un 29% mayor producción de azúcar en los sorgos evaluados en condiciones de temporal que en riego (Alhajturki et al., 2012).

5.3. ELEVACIÓN

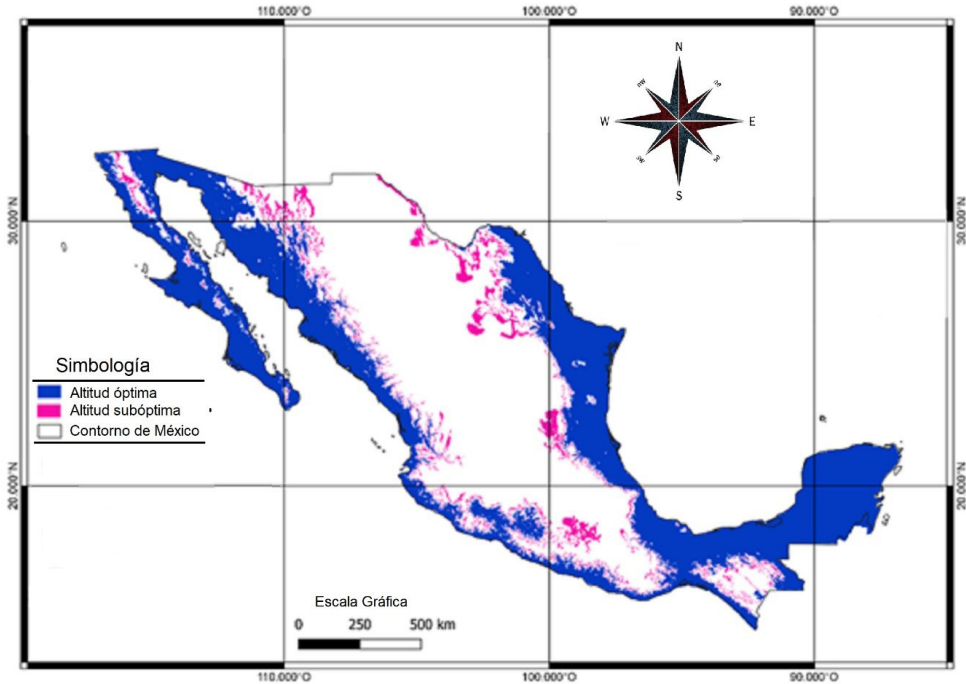
El pariente silvestre del sorgo forrajero, remonta su desarrollo a altitudes mayores a los 1000 msnm, sin embargo, tras diferentes adaptaciones y su llegada a América, los rangos de elevación en las que esta planta se desarrolla son variados.

Por sus altas exigencias de temperatura, raramente se le cultiva más allá de los 1800 m de altura, sin embargo, en el continente africano se cultiva entre 400 m y 2500 m altitud (Ruiz y Soltero, 1993). En el continente americano, se adapta a una altitud entre 20 y 850 msnm (Buestan, 1994), como rangos óptimos para su desarrollo. Sin embargo, esta planta puede crecer desde 0 a los 1 500 msnm (Pérez et al., 2010).

Es común que el desarrollo de este cultivo este asociado con zonas cercanas a cuerpos de agua, con baja elevación, ya que esto promueve a un clima cálido, y húmedo.

En México, la altitud óptima y subóptima para el desarrollo del sorgo dulce se presenta en la figura 3.

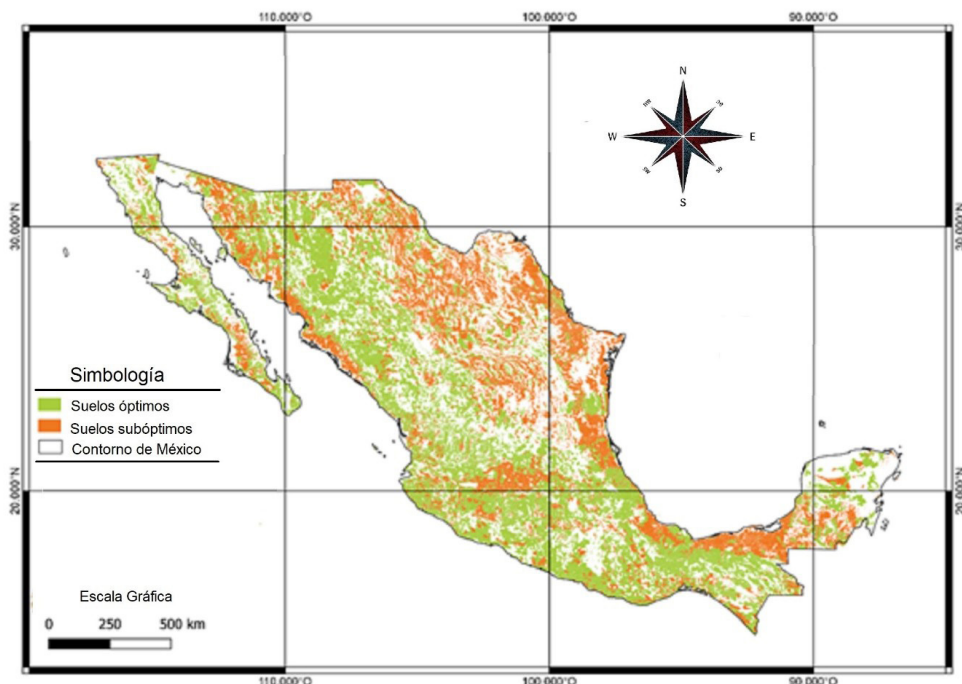
Figura 3. Elevación óptima y subóptima, requerida por el cultivo de sorgo, en México.



5.4. SUELOS

Los mejores sitios para el establecimiento de *Sorghum bicolor* (L.) se ubican en suelos de mediana a alta fertilidad, con textura arenosa, franco o arcillosa (Buestan 1994; Pérez *et al.*, 2010). El sorgo dulce prefiere suelos profundos, sin exceso de sales, con buen drenaje, sin capas endurecidas, de buena fertilidad y un pH comprendido entre 6.2 y 7.8. Es moderadamente tolerante a suelos con alguna salinidad y/o alcalinidad, según estudios realizados la presencia de carbonato cálcico en el suelo aumenta el contenido de sacarosa en el tallo y hojas (SIAP, 2023), siendo su comportamiento, ante esas condiciones de salinidad mejor que la de otros cultivos como trigo, soya y maíz. Los suelos deben tener buen drenaje, pues la excesiva humedad afecta el desarrollo normal de las plantas. Tomando como sustento, los requerimientos edáficos propios del cultivo (Baradas, 1994, Buestan, 1994, FAO, 2014) se seleccionan clases de suelos como: Fluvisoles, Regosoles, Luvisoles, Nitisoles, Andosoles, Phaeozem y Kastañozem entre otros. Estos suelos tienen profundidades superiores a los 50 cm, conservan la humedad, y son porosos. En México la distribución de los suelos óptimos y subóptimos se presentan en la figura 4.

Figura 4. Clases de suelo óptimo y sub óptimo, requerida por el cultivo de sorgo, en México.

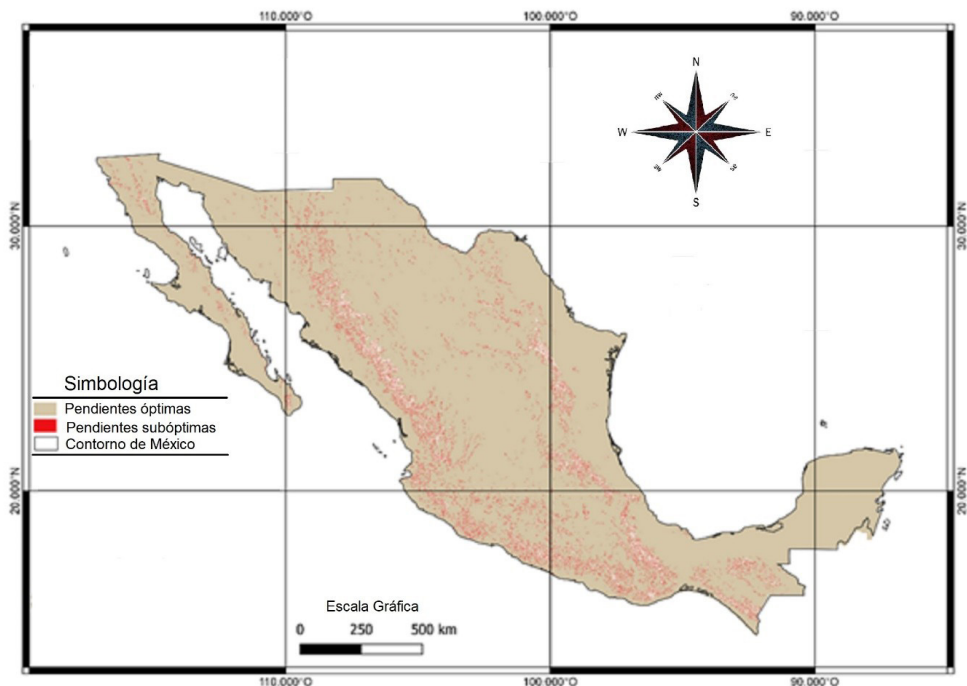


Tolera un rango de pH de 5.0 a 8.5 y cierto grado de salinidad, alcalinidad y mal drenaje (Almodares et al., 2007 y 2008). Eso también crecerá en Vertisoles pesados, grietas profundas y ligeros arenas, 2000). La semilla de dulce el sorgo debe plantarse lo suficientemente profundo como para darle humedad para germinar y permitir que sus raíces crezcan a través del suelo húmedo hacia la humedad del subsuelo, por delante del frente de secado. (Almodares et al., 2008)

5.5. PENDIENTE

El porcentaje de inclinación del terreno que se ha considerado como óptimo para el desarrollo de este cultivo es de 0 a 16% según (Kahsay et al., 2018), y como sub óptimo de 16-20%. Naidu et al., (2006) asegura que cuando se quiere obtener la mayor cantidad de biomasa para el aprovechamiento de los azúcares, la inclinación del suelo debe ser menor al 16%. En México, se puede observar que las pendientes con inclinaciones entre el 0 y el 16% se encuentran en el gran parte del territorio, caso contrario a las pendientes del 16 – 20%, las cuales guardan relación con las cadenas montañosas y sierras que atraviesan las diferentes entidades. (Figura 5)

Figura 5. Pendiente optima y sub optima, requerida por el cultivo de sorgo, en México.



pH. Crece bien en suelos cuyo pH oscile entre 5,5 y 8,5; sin embargo, el pH ideal está entre 5,5 y 6,5 (Pérez *et al.*, 2010; Elaalem 2012). Soporta la sal y se plantea que las variedades azucaradas exigen la presencia de carbonato cálcico en el suelo, lo que aumenta el contenido en sacarosa de los tallos y las hojas (Pérez *et al.*, 2010).

Fotoperiodo. El ambiente juega un papel importante en la producción de azúcar (Williams-Alanís *et al.*, 2017). Reportes indican que el sorgo dulce es muy eficiente en ambientes cálidos (Rooney y Serna, 2000; Almodares y Hadi, 2009) y con intensidad luminosa alta (Rooney y Serna 2000). Sin embargo, es una especie de día corto (< 12 horas), aunque hay cultivares de día neutro (Dendy, 1995). Además, la formación de la panoja y la floración se aceleran en días cortos y se retrasan en días largos (Baradas, 1994).

Zonas con Potencial Productivo para Sorgo Dulce Bajo Condiciones de Riego.

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es uno de los cultivos más antiguos y actualmente uno de los cereales más importantes del mundo (Serna, 2010). Crece bien en todos los continentes, en regiones tropicales, subtropicales y templadas; en tierras de aptitud agrícola media y baja, y es especialmente adecuado para regiones con poca precipitación (Tobin, 2010).

Actualmente no existen estadísticas específicas para sorgo dulce orientado para producción de biocombustible; sin embargo, la producción de sorgo forrajero bajo

condiciones de riego de cuáles son los estados que siembran las mayores superficies y si coinciden con las zonas potenciales. En 2023 se sembraron 34,822.00 hectáreas bajo condiciones de riego en Otoño-Invierno (O-I) y 282,562.00 hectáreas en Primavera-Verano (P-V), los estados que sobresalen en O-I en cuanto a superficie sembrada son Guerrero, Michoacán y Sinaloa y en P-V son Coahuila, Durango y Sonora (SIAP, 2023).

En el estudio de potencial productivo realizado para sorgo dulce de P-V de riego sobresalen en cuanto a superficie de alto potencial los estados de: Veracruz, Campeche, Tamaulipas, Tabasco, Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Michoacán, Chihuahua, Quintana Roo, Chiapas, Jalisco, Coahuila y Baja California (Tabla 3 y Figura 6).

En un estudio realizado en 2009, donde evaluaron el comportamiento de 10 variedades en el Campo Experimental Río Bravo del INIFAP se obtuvieron rendimientos que van desde 41 t¹ ha hasta las 105 t¹ ha. En el experimento sobresalieron los genotipos Indú, Dale y Dulce con 105, 99 y 93 t¹ ha respectivamente. Estos tres materiales tuvieron una altura mayor a 3 metros, un peso en gramos entre 800 y 900 gramos, así 11.2, 15.2 y 15.8, sobresaliendo el material Indú en los tres parámetros.

Lo anterior da una idea del gran potencial que tiene México para producir sorgo dulce bajo condiciones de riego, en caso de orientar la producción hacia las regiones de alto y mediano potencial.

Figura 6. Distribución de las Zonas de Alto y mediano potencial de Sorgo Dulce bajo condiciones de riego en México.

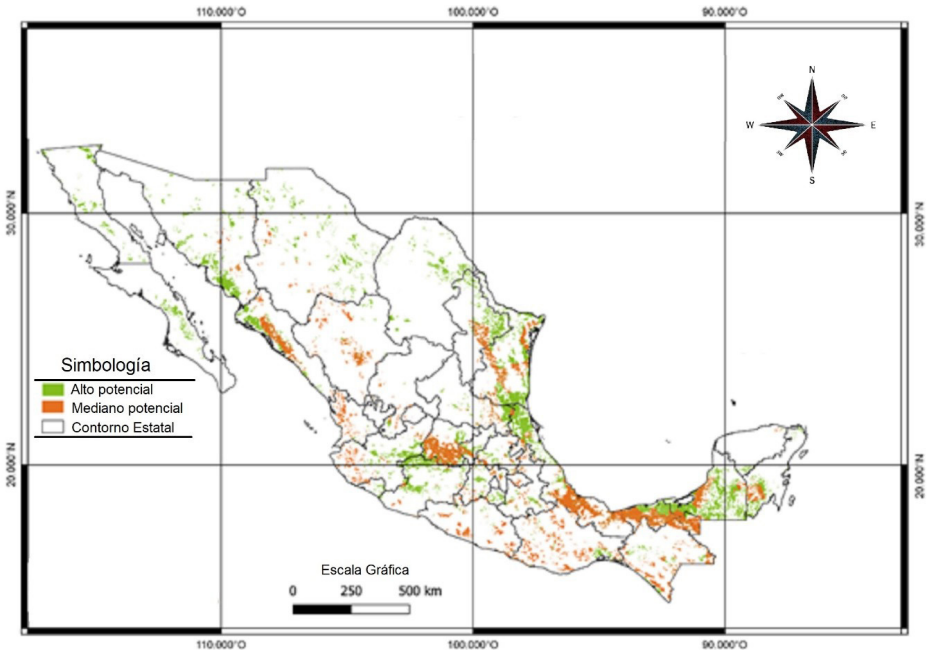


Tabla 3. Áreas de Alto y Mediano Potencial por Estado en la República Mexicana.

Estado	Alto potencial (hectáreas)	Mediano Potencial (hectáreas)
Baja California	358,510	0
Baja California Sur	289,440	0
Campeche	2 189,687	673,483
Chiapas	515,826	934,821
Chihuahua	783,518	164,450
Coahuila De Zaragoza	468,205	0
Colima	47,767	14,510
Ciudad de México	985	2,130
Durango	254,036	508,892
Guanajuato	1 211,451	1 030,421
Guerrero	79,529	512,416
Hidalgo	192,174	192,641
Jalisco	596,650	392,350
México	228,639	197,753
Michoacán De Ocampo	935,902	241,645
Morelos	103,467	16,442
Nayarit	36,852	304,429
Nuevo León	956,575	318,339
Oaxaca	346,328	1 174,983
Puebla	191,160	202,616
Querétaro De Arteaga	252,719	173,523
Quintana Roo	622,307	268,560
San Luis Potosí	478,354	188,817
Sinaloa	1 000,633	677,399
Sonora	1 108,679	123,608
Tabasco	1 587,146	1 531,283
Tamaulipas	1 994,243	848,451
Tlaxcala	3,572	49,483
Veracruz de Ignacio De La Llave	2 250,587	1 555,576
Yucatán	55,446	10,200
Zacatecas	70,968	86,844
Total General	19 211,355	12 396,065

6. CONCLUSIONES

Existen condiciones agroecológicas óptimas para producir sorgo dulce bajo condiciones de riego y mejorar su productividad en la República mexicana.

Los estados con mayores superficies para producir sorgo dulce bajo condiciones de riego son: Veracruz, Campeche, Tamaulipas, Tabasco, Guanajuato, Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Michoacán, Chihuahua y Quintana Roo entre los más importantes por su área; no obstante, prácticamente en todos los estados del país es factible producirlo bajo esta condición.

El tipo de suelo, la precipitación y la temperatura son factores determinantes en la definición de zonas de óptimo y subóptimo potencial en el cultivo de sorgo dulce.

Las zonas de alto potencial superan por mucho a la superficie de sorgo en general sembrada actualmente en el país.

7. LIMITANTES DEL ESTUDIO

En la obtención de las zonas potenciales de sorgo dulce bajo condiciones de riego, existe el potencial agroclimático para la producción de la especie, aunque no necesariamente se cuenta con agua para regar.

Las zonas potenciales obtenidas no son excluyentes, es decir, una misma zona puede tener potencial para otras especies.

Las zonas potenciales obtenidas son independientes del uso actual del suelo.

Para que una especie exprese su máximo potencial, además de establecerla en la zona adecuada, se debe aplicar la tecnología de producción.

LITERATURA CITADA

1. Acuña J., F., O.M. Archila, O.E. Bustos B., L. Contreras G., E.O. Díaz G., H. Espinosa G., G.E. Fajardo M., A.E. Forero B., G.I. Forero B., J.E. Ospina M., C. Ramírez C., M.V. Riveros P., J. M. Sánchez S., G. Téllez I., y C.X. Torres S. 2002. Manual agropecuario. Tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente. Fundación Hogares Juveniles Campesinos. Bogotá, Colombia. 1071 p.
2. Almodares, A, M.R. Hadi, and B. Dosti. 2007. Effects of salt stress on germination percentage and seedling growth in sweet sorghum cultivars. J. Biol. Sci. 7:1492-1495. doi:10.3923/jbs.2007.1492.1495
3. Almodares, A. and Hadi, M.R. 2009. Production of Bioethanol from Sweet Sorghum: A Review. African Journal of Agricultural Research, 4, 772-780. <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/6DDEDD738826>
4. Alhajturki, D., M. Aljamali, A. Kanbar, and F. Azmah. 2012. Potential of some sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes under two water regimes for sugar and bio-ethanol production. Sugar Tech. 14:376-382. doi:10.1007/S12355-012-0181-x

5. Alvarado, P., J.I. 2015. Informe de proyecto. Efecto del método de siembra, densidad de siembra y riegos en la producción de biomasa y azúcares de sorgos dulces evaluados en baja california, INIFAP. Campo Experimental Valle de Mexicali, Mexicali, BCN. 6 p.
6. Alvarez, C.M. and Montes, G.N. (2017) Production Technology for Sweet Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] as a Source for Obtaining Bioethanol in the Sub-Humid Tropics of the State of Jalisco. Technical Brochure No. 15. INIFAP-CIRPAC. Tecoman Experimental Field Station, Tecoman, 24 p. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_folletotecnico/1029_4702_Tecnolog%c3%ada_de_producci%c3%b3n_de_sorgo_dulce_Sorghum_bicolor_l._Moench_como_fuente_para_la_obtenci%c3%b3n_de_bioetanol_en_el_tr%c3%b3pico_subh%c3%bamedo_del_estado_de_Jalisco.pdf
7. Anglani, C., 1988. Sorghum carbohydrates-A Rev. *Plant Food Human Nutr.* No. 52: 77-83.
8. Assefa, Y., Staggenborg, S.A. and Prasad, V.P.V. (2010) Grain Sorghum Water Requirement and Responses to Drought Stress: A Review. *Crop Management*, 9, 1-11. https://www.researchgate.net/publication/260421900_Grain_Sorghum_Water_Requirement_and_Responses_to_Drought_Stress_A_Review <https://doi.org/10.1094/CM-2010-1109-01-RV>
9. Baradas, M. W. 1994. Crop requirements of tropical crops. *In: Handbook of agricultural meteorology.* J.F. Griffiths Editor. Oxford Univ. Press. New York. pp. 189-202.
10. Buestan, R. (1994). Los parámetros de estabilidad y la selección de cultivares. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Boliche. Ecuador.
11. Calviño M. y Messing J. (2012). Sweet sorghum as a model system for bioenergy crops. *Curr. Opin. Biotechnol.* 23, 323-329. DOI: 10.1016/j.copbio.2011.12.002.
12. Correa, N.J (2000). El sorgo en la producción animal. CREAS Zona oeste, Gacetilla informativa No 166.
13. Chuck, C., E. Pérez, E. Heredia, y S.O. Serna. 2011. Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Rev. Mex. Ing. Quim.* 10:529-549.
14. Dial, H.L. 2012. Plant guide for sorghum (*Sorghum bicolor* L.). USDA-Natural Resources Conservation Service, Tucson Plant Materials Center, Tucson, AZ.
15. Diaz, F.A., Espinosa, R.M. and Ortiz, C.F.E. (2016) Promotion of Biomass and Sugar Content in Sweet Sorghum through Organic Fertilizers and Arbuscular Mycorrhiza. *International Journal of Environmental Pollution*, 32, 353-360.
16. Dendy, D.A.V. (1995) Sorghum and Millets Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Universidad de Wisconsin, Madison.
17. Drapcho, C M., Erasti, N P., Walker, T H. *Biofuels Engineering Process Technol.* USA: The McGraw-Hill companies. 2008.
18. Elaalem M (2012) Land suitability evaluation for sorghum based on Boolean and fuzzy-multi-criteria decision analysis methods. *Int J Environ Sci Dev* 3(4):357-361.
19. Errasti Cabrera, Michel, Piloto Rodríguez, Ramón, Ferrer Frontela, Noel, Melo Espinoza, Eliezer Ahmed, de Dios Ortega, Antonio Werner, & Goyos Pérez, Leonardo. (2013). Caracterización de un motor diesel trabajando con mezclas de aceite de *Jatropha* y combustible diesel. *Ingeniería Energética*, 34(3), 198-207.

20. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2014) Ecocrop, Ecological Requirements of Plant Species, Database. Rome, Italy.
21. Geng, S., F.J. Hills, S.S. Johnson, and R.N. Sah. 1989. Potential yields and on-farm ethanol production cost of corn, sweet sorghum, fodderbeet, and sugarbeet. *Journal of Agronomy and Crop Science* 162: 21–29.
22. Harlan, J.R. and de Wet, J.W.J. 1972. A simplified classification of sorghum. *Crop Sci.* 12:172-176.
23. House, H.R., Gomez, M., Murty, O.S., Sun, Y. and Verma, B.N. 2000. Development of some agricultural industries in several African and Asian countries. pp 131-190. In: *Sorghum: Origin, history, technology and production*. Smith et al. (ed.). John Wiley & Sons, New York, USA.
24. Kahsay, A., Mitiku, H., Girmay, G. and Muktar, M. (2018) Land Suitability Analysis for Sorghum Crop Production in Northern Semi-Arid Ethiopia: Application of GIS-Based Fuzzy AHP Approach. *Cogent Food & Agriculture*, 4, 1-24. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311932.2018.1507184>
25. Khawaja, C., Janssen, R., Rutz, D., Luquet, D., Trouche, G., Reddy, B., Rao, P.S., Basavaraj, G., Schaffert, R., Damasceno, C., Parella, R., Zacharias, A., Bushmann, R., Rettenmaier, N., Reinhardt, G., Monti, A., Lizarazu, W.Z., Amaducci, S., Marocco, A., Snijman, W., Shargie, N., Terblanche, H., Zavala-Garcia, F. and Braconnier, S. (2014) *Energy Sorghum: An Alternative Energy Crop. A Handbook*. WIP Renewable Energies, Munich, p.13. <http://oar.icrisat.org/9049>
26. Kumar, S.R., Ramanjaneyulu, A.V. and Krishna, A. (2010) A Decadal Analysis of Improved Sorghum (*Sorghum bicolor*) Cultivar Response to Fertilizer Application in Rainy Season and a Hypothetical Grain Production Model. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 80, 786-790. https://krishi.icar.gov.in/jspui/bitstream/123456789/8395/1/A_decadal_analysis_of_improved_sorghum_Sorghum_bic.pdf
27. Lemus R., and Parrish D.J. 2009. Herbaceous crops with potential for biofuel production in the USA. *Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 4, No. 057.
28. Lingle, S.E. 1987. Sucrose metabolism in the primary culm of sweet sorghum during development. *Crop Sci.* 27: 1214-1219.
29. Medina G., G., Ruiz C., J. A., Martínez P., R. A. y Ortiz V., M. 1997. Metodología para la determinación del potencial productivo de especies vegetales. *Agric. Téc. Méx.* 23(1):69-90.
30. Moore, L; Serafin, L; Jenkins, L (2014) Grain sorghum. Summer crop production guide 2014. NSW Department of Primary Industries.
31. Montes, G.N., Vargas, V.E., Salinas, G.J., Espinosa, R.M. y Loredó, P.R. (2013). Tecnología de Producción de Sorgo Dulce para la Elaboración de Etanol en Tamaulipas. Folleto 21. Campo Experimental Río Bravo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Río Bravo, 26 p. <https://pdfs.semanticscholar.org/d16e/0496f3400b0bbe904cd62d3dff4cecc5185c.pdf>
32. Montiel Montoya, J., Potencial y Riesgo Ambiental de los Bioenergéticos en México. *Ra Ximhai*. No. 6, pp:57-62. 2010.
33. Murray, S.C. 2008. Genetic and phenotypic diversity in sorghum for improvement as a biofuel feedstock. PhD. Tesis, Cornell University, Ithaca, NY, USA.

34. Neild, R.E., J. Logan and A. Cárdenas. 1983. Growing season and phenological response of sorghum as determined from simple climatic data. *Agric. Meteorol.*, 30:35-48.
35. Pecina Quintero, V., Herrera Corredor, C., Hernandez Martinez, M., Montes Garcia, N. and Moreno Gallegos, T. (2017) Sweet Sorghum Production Technology (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Guanajuato. Technical Brochure No. 37. National Institute of Agricultural Forestry and Livestock Research, Regional Research Center, Bajío Celaya Experimental Field Center, Guanajuato. [https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_folletotecnico/1047_4732_Tecnolog%3%ada_de_producci%3%b3n_de_sorgo_dulce_\(Sorghum_bicolor_\(L.\)_Moench\)_en_Guanajuato.pdf](https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_folletotecnico/1047_4732_Tecnolog%3%ada_de_producci%3%b3n_de_sorgo_dulce_(Sorghum_bicolor_(L.)_Moench)_en_Guanajuato.pdf)
36. Pérez, S; O; Iglesias, W; Reyes, H; Oquendo, G; Millan, O. (2010). Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) Pastos y Forraje, 33(1), 1. Recuperado el 15 de junio de 2019.
37. Pereira, A. R. 1982. Crop planning for different environments. *Agricultural Meteorology* 27(1-2):71-77.
38. QGIS Development Team (2019). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.
39. Rajvanshi, A. K., De, T. K., Jorapur, R. M., and Nimbkar, N. 1993. Jaggery and syrup from sweet sorghum. Publication No. NARIGUR, published by Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI), Phaltan, India.
40. Ratnavathi C.V., Kalyana S., Komala V.V., Chavan U.D. y Patil J.V. (2011). Sweet sorghum as feedstock for biofuel production: A review. *Sugar Tech.* 13, 399-407. DOI: 10.1007/s12355-011-0112-2.
41. Reddy, B.V.S., Ramesh, Sanjana.S., Reddy, P., Ramaih, B., Salimath. P.M., Rajashekar Kachapur. 2005. Sweet sorghum-A potential alternative raw material for bioethanol and bioenergy. *International Sorghum and Millets Newsletter* 46, 79-86.
42. Rooney, L. and Serna-Saldivar, S. (2000) Sorghum. In: Kulp, K. and Ponte, J., Eds., *Handbook of Cereal Science and Technology*, Marcel Dekker, New York, 149-176.
43. Ruiz C., J.A. y L. Soltero D. 1993. Necesidades térmicas para la floración de sorgo en la Ciénega de Chapala. *FITOTECNIA* 16(1): 79-87.
44. Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
45. Schaffert, R. E. and Gourley, L. M. 1982. Sorghum as an energy source. pp 605-623. In: *Sorghum in the eighties: Proceedings of the International Symposium on Sorghum*, 2-7 Nov. 1981, ICRISAT Center, Patancheru, India.
46. Schaffert, R. E. 1992. Sweet sorghum substrate for industrial alcohol. pp. 131-137. In: *Utilization of sorghum and millets: proceedings of the International workshop on policy, practice, and potential relating to uses of sorghum and millets*, 8-12 Feb. 1988, ICRISAT Center, Bulawayo, Zimbabwe.
47. Serna-Saldivar, S. (2010) *Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 22 p. <https://books.google.com.mx/>

books?id=OgzSBQAAQBAJ&lpg=PA108&ots=uQoePDFQal&dq=Sorghum.%20En%3A%20Handbook%20of%20Cereal%20Science%20and%20Technology%2C%20(Kulp%2C%20K.%2C%20Ponte%2C%20J.%2C%20eds.).%20Marcel%20Dekker%2C%20New%20York%2C%20USA&hl=es&pg=PA12#v=onepage&q&f=false

48. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2017. Bioenergéticos mexicanos: Higuierilla, *Jatropha curcas*, Sorgo Dulce. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257070/Potencial-Bioenerg_ticos.pdf
49. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2023. Monografía de Sorgo Dulce. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/874035/Sorgo_dulce_monografia_2023.pdf
50. Tarpley, L., and Vietor, D.M. 2007. Compartmentation of sucrose during radial transfer in mature sorghum culm. *BMC Plant Biol.* 7:33.
51. Tobin 2010. Sweetened Sorghum as a Promising Energy Crop for NOA. http://www.tobin.com.ar/?EI_Sorgo_Azucarado%3A_Un_cultivo_energ%E9tico_promisorio_para_el_NOA&page=ampliada&id=54&s=&_page=informacion_comercial
52. Undersander, D.J., L.H. Smith., A.R. Kaminski., K.A. Kelling, and J.D. Doll 1990. Sorghum- Forage. In: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/AFCM/forage>.
53. Vietor, D.M., and Miller, F.R. 1990. Assimilation, partitioning, and nonstructural carbohydrate in sweet compared with grain sorghum. *Crop Sci.* 30: 1109-1115.

SOBRE O ORGANIZADOR

EDUARDO EUGENIO SPERS realizou pós-doutorado na Wageningen University (WUR), Holanda, e especialização no IGIA, França. Possui doutorado em Administração pela Universidade de São Paulo (USP). Foi Professor do Programa de Mestrado e Doutorado em Administração e do Mestrado Profissional em Comportamento do Consumidor da ESPM. Líder do tema Teoria, Epistemologia e Métodos de Pesquisa em Marketing na Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração (ANPAD). Participou de diversos projetos de consultoria e pesquisa coordenados pelo PENSE e Markestrat. É Professor Titular no Departamento de Economia, Administração e Sociologia, docente do Mestrado em Administração e Coordenador do Grupo de Extensão MarkEsalq no campus da USP/Esalq. Proferiu palestras em diversos eventos acadêmicos e profissionais, com diversos artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, livros e capítulos de livros sobre agronegócios, com foco no marketing e no comportamento do produtor rural e do consumidor de alimentos.

ÍNDICE REMISSIVO

Símbolos

18th century 116, 117, 118

A

Ácido ortosilícico 31, 34

B

Biofortificación 67, 68, 69, 89, 90, 92

Biosecurity 116, 117, 120

Broca 31, 36, 37, 41, 42, 44

Burning gas 1, 2

C

Cafeto 31, 34, 35, 36, 41

Calidad de proteína 67, 68, 86, 88, 91

Cattle plague 116, 117, 118, 119, 121

Chemical reactions 1, 5

Compound feed 1, 2, 5, 8, 10, 11, 12, 13

Cultivo alternativo 96

D

Deslizamientos 14, 15, 16

Desnutrición 68, 89, 90

Diversificación agrícola 96, 97

E

Educación ambiental 14, 15, 16, 22, 23, 27, 30

Epizootics 116, 117

Escuela rural 14, 23

G

Ganancia de peso 102, 104, 109, 110, 111, 113

Gestión del riesgo 14, 15, 16, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27

H

Habsburg monarchy 116

I

Inoculation 116, 117, 119, 120

Inundaciones 14, 15, 16, 49

M

Maíz morado 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 90, 91, 92, 94

N

Norte de Tamaulipas 96, 97, 99, 100

O

Ovino 102

P

Paquete tecnológico 96, 97

Paul Adami 116, 117, 118, 122

Planificación 15, 19, 29, 47, 51

Pollutant emissions 1, 10, 13

Pulpa de manzana 102, 111

R

Regionalización 47, 52

Rinderpest 116, 117, 119, 120, 122

Roya 31, 35, 36, 37, 41, 44, 75

S

Sanidad vegetal 31

SIG 47, 51

Sorgo 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 97, 105, 106

Soya 57, 96, 97, 98, 99, 103, 105, 106, 107, 115

Styria 116, 117, 118, 119, 120, 121

V

Veterinary history 116



EDITORA
ARTEMIS

2025