

Estudos em Biociências e Biotecnologia:

Desafios, Avanços
e Possibilidades

Manuel Simões
(organizador)

VOL IV

 EDITORA
ARTEMIS
2024

Estudos em Biociências e Biotecnologia:

Desafios, Avanços
e Possibilidades

Manuel Simões
(organizador)

VOL IV

 EDITORA
ARTEMIS
2024



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. Manuel Simões
Imagem da Capa	Vivilweb/123RF
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
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. 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 Albornoz, *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 Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, 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-Yañez, *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 MªGraça 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 biociências e biotecnologia [livro eletrônico] : desafios, avanços e possibilidades IV/ Organizador Manuel Simões. – Curitiba, PR: Artemis, 2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilingue

ISBN 978-65-81701-33-8

DOI 10.37572/EdArt_311024338

1. Ciências biológicas. 2. Biotecnologia. 3. Biomedicina.
I. Simões, Manuel.

CDD 574

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PREFÁCIO

O volume IV da edição “Estudos em Biociências e Biotecnologia: Desafios, Avanços e Possibilidades” disponibiliza ao leitor informação científica avançada de caráter fundamentalmente aplicado. O livro está organizado em sete capítulos que focam essencialmente em conhecimento avançado em ciências biomédicas, neurociências, parasitologia, saúde animal e em processos avançados e sustentáveis de produção alimentar.

Manuel Simões

<https://orcid.org/0000-0002-3355-4398>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

EVALUACIÓN *IN VITRO* DE LA ACTIVIDAD CITOTÓXICA DE QUERCETINA ENZIMÁTICAMENTE MODIFICADA EN CÉLULAS DE CÁNCER DE CÉRVIX Y DE COLON

David Alejandro Macías Martín

Iliana del Carmen Barrera Martínez

Flor Yohana Flores Hernández

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3110243381

CAPÍTULO 2..... 13

DEVELOPMENTAL HETEROCHRONY AND ITS RELATIONSHIP WITH THE CELLULAR SENESENCE: A NEW PERSPECTIVE ON THE ETIOLOGY OF NEURODEGENERATION

Ana Karen Ramírez- Reyes

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3110243382

CAPÍTULO 3..... 22

DETECCIÓN DEL VIRUS DE LA NECROSIS RENAL Y DEL BAZO (ISKNV) DEL PEZ CEBRA EN COLONIAS DE EXPERIMENTACIÓN DE ARGENTINA

Juan Martín Laborde

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3110243383

CAPÍTULO 4..... 36

PRESENCIA DE *ANAPLASMA MARGINALE* Y *BABESIA SPP.* EN *HAEMATOBIA IRRITANS* COLECTADAS EN NUEVO LEÓN

José Pablo Villarreal Villarreal

Pilar Elizabeth Rincón González

Jesús Jaime Hernández Escareño

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3110243384

CAPÍTULO 5..... 45

EVALUACIÓN DE LÍNEAS ÉLITE DE MAÍZ AZUL PARA VALLES ALTOS DE MÉXICO

José Luis Arellano-Vázquez

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández

Luis Fernando Ceja-Torres
Martín Filiberto García Mendoza
Estela Flores-Gómez
Patricia Vázquez-Lozano
Donají Ariadna Ramírez López

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3110243385

CAPÍTULO 6..... 54

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE PROTEÍNAS DE *SPHENARIUM PURPURASCENS* EXTRAÍDAS CON ULTRASONIDO EN SALCHICHAS TIPO VIENA

Salvador Osvaldo Cruz-López
Yenizey Merit Alvarez-Cisneros

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3110243386

CAPÍTULO 7 68

PRODUCCIÓN ARTESANAL DE PILONCILLO CON ENFOQUE SOSTENIBLE

Luisiana Fabiola Palomo González
José Antonio de los Reyes
Marco A. Sánchez Castillo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3110243387

SOBRE O ORGANIZADOR 118

ÍNDICE REMISSIVO 119

CAPÍTULO 5

EVALUACIÓN DE LÍNEAS ÉLITE DE MAÍZ AZUL PARA VALLES ALTOS DE MÉXICO¹

Data de submissão: 08/10/2024

Data de aceite: 25/10/2024

José Luis Arellano-Vázquez

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Campo Experimental Valle de México
C. P. 56250. Coatlinchán
Estado de México, México
<https://orcid.org/0000-0002-2231-2940>

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández

Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional
Interdisciplinaria de Biotecnología
Av. Acueducto s/n.
La Laguna Ticomán. C. P. 07340
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0000-0003-3312-3747>

Luis Fernando Ceja-Torres

Instituto Politécnico Nacional
Centro Interdisciplinario de
Investigación para el Desarrollo
Integral Regional Unidad Michoacán
Justo Sierra 28. C. P. 59510
Jiquilpan, Michoacán, México
<https://orcid.org/0000-0002-8397-0701>

Martín Filiberto García Mendoza

Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional
Interdisciplinaria de Biotecnología
Av. Acueducto s/n.
La Laguna Ticomán. C. P. 07340
Ciudad de México, México

Estela Flores-Gómez

Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional
Interdisciplinaria de Biotecnología
Av. Acueducto s/n.
La Laguna Ticomán. C. P. 07340
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0000-0002-4634-455X>

Patricia Vázquez-Lozano

Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional
Interdisciplinaria de Biotecnología
Av. Acueducto s/n.
La Laguna Ticomán. C. P. 07340
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0000-0002-5945-6307>

Donají Ariadna Ramírez López

Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional
Interdisciplinaria de Biotecnología
Av. Acueducto s/n.
La Laguna Ticomán. C. P. 07340
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0009-0007-9033-0116>

¹ Derivado parcialmente del artículo: <https://doi.org/10.3390/plants12223861>

RESUMEN: En los Valles Altos Centrales de México hay un déficit en la producción de grano de maíz azul, siendo necesario incrementar significativamente la productividad de este cultivo. El Programa de Maíz Azul del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias implementó la estrategia de desarrollar híbridos de maíz azul con atributos superiores de rendimiento y características agronómicas y de planta y grano. El objetivo del presente estudio fue evaluar diez líneas endogámicas de maíz azul, en términos de sus aptitudes combinatorias general (ACG) y específica (ACE) para rendimiento, así como por sus características agronómicas y de planta y grano. Se realizaron los cruzamientos dialélicos en sentido directo de acuerdo con el método 1 modelo 1 de Griffing. Hubo diferencias ($p \leq 0.01$) en los efectos de ACG y ACE. Para ACG, destacaron las líneas L1, L4, L6 y L9, con valores significativos de 3.4, 2.9, 2.9 y 3.1, respectivamente; mientras que, para ACE los híbridos superiores fueron L4 \times L10, L2 \times L10, L1 \times L10, L7 \times L8 y L2 \times L6, con valores de 3.0, 2.5, 2.3, 2.3 y 2.2, y rendimientos de 11.2, 10.2, 10.4, 10.4 y 10.5 t ha⁻¹, respectivamente. Se detectaron magnitudes considerables de ACG y ACE, por lo que se concluye que hubo efectos genéticos favorables, tanto aditivos como de dominancia, para dar soporte a la formación de híbridos de alto rendimiento y características óptimas de planta, grano y color azul del grano. Con las líneas evaluadas se formaron y liberaron cuatro híbridos de maíz de grano azul (Vampiro H 10, Vampiro H 12, Drácula H 13 y Chimpancé H 14) con rendimientos altos, resistentes al acame, con grano con textura de semicristalina a cristalina y de ciclo precoz o intermedio; además de producir granos de color azul intenso.

PALABRAS CLAVE: *Zea mays* L., Endogamia. Hibridación. Maíz pigmentado.

EVALUATION OF ELITE LINES OF BLUE CORN FOR HIGH VALLEYS OF MEXICO

ABSTRACT: In the Highland Valleys of Mexico, there is a deficit in the production of blue corn grain, making it necessary to increase the productivity of this crop significantly. The Blue Corn Program of the Valle de México Experimental Field of the National Institute of Forestry, Agriculture, and Livestock Research implemented the strategy of developing blue corn hybrids with superior yield attributes and agronomic, plant, and grain characteristics. The objective of the present study was to evaluate ten inbred lines of blue corn, in terms of their general (GCA) and specific (SCA) combining abilities for yield, as well as for their agronomic, plant, and grain characteristics. Direct diallel crosses were performed according to Griffing's 1 model 1 method. There were differences ($p \leq 0.01$) in the effects of GCA and SCA. For GCA, the L1, L4, L6, and L9 lines stood out, with significant values of 3.4, 2.9, 2.9, and 3.1, respectively; while, for SCA the superior hybrids were L4 \times L10, L2 \times L10, L1 \times L10, L7 \times L8 and L2 \times L6, with values of 3.0, 2.5, 2.3, 2.3 and 2.2, and yields of 11.2, 10.2, 10.4, 10.4 and 10.5 t ha⁻¹, respectively. Considerable magnitudes of GCA and SCA were detected, so it is concluded that there were favorable genetic effects, both additive and dominance, to support the formation of high-yielding hybrids with optimal plant, grain, and blue grain color characteristics. Four blue-grain corn hybrids (Vampiro H 10, Vampiro H 12, Drácula H 13, and Chimpancé H 14) were developed and released from the evaluated lines. They were high-yielding, resistant to lodging, had a semi-crystalline to crystalline grain texture and an early or intermediate cycle; in addition to producing intense blue grains.

KEYWORDS: *Zea mays* L., Inbreeding. Hybridization. pigmented corn.

1 INTRODUCCIÓN

En el Altiplano Central de México, cuyas altitudes oscilan entre 2200 y 2800 msnm, existen numerosas variantes de maíz de grano pigmentado (rojo, amarillo y azul). En particular, ha destacado el de color azul por ser el ingrediente esencial de multitud de platillos cotidianos en la dieta de los mexicanos, tales como tortillas, tamales, sopes y tlacoyos, entre otros.

Se han reportado recientemente cualidades nutracéuticas, medicinales, dermatológicas y de cosmetología para los maíces azules, porque poseen antocianinas, pigmentos vegetales que les proveen su color de grano y que, al propio tiempo, les confieren propiedades de diversa índole, muchas de ellas todavía por estudiar, tales como anticancerígenas, reductoras de lípidos, antidiabéticas, antiinflamatorias, antimicrobianas y antioxidantes (Shah *et al.*, 2016; Damián-Medina *et al.*, 2020). Por lo anterior, se ha incrementado notablemente la demanda de este alimento.

En el contexto anterior, existe actualmente un déficit en la producción de grano de maíz azul, por lo que es necesario incrementar de manera significativa la productividad de esta especie para satisfacer su demanda creciente. Para ello, en el Programa de Maíz Azul del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se implementó la estrategia de desarrollar híbridos de maíz azul con adaptación al altiplano mexicano, cuya siembra sea una opción ventajosa para reducir el desabasto de este importante cultivo.

Las variedades criollas de maíz azul de los Valles Altos de México expresan rendimientos medios de 1.9 t ha⁻¹ (SIAP, 2022), los cuales se pueden superar mediante el cultivo de híbridos (Lee *et al.*, 2007; McRobert *et al.*, 2014) de rendimiento alto, resistentes al acame, con grano con textura de semicristalina a cristalina y de ciclo precoz o intermedio; además de producir granos de color azul intenso y conformados a partir del germoplasma de la región de interés (Arellano-Vázquez *et al.*, 2014).

El proceso de formación de híbridos inicia con la identificación y evaluación de criollos regionales sobresalientes (los cuales son poblaciones de amplia base genética), a partir de los cuales se derivan líneas endogámicas (ya de base genética estrecha pero muy selecta) que se van depurando genéticamente y seleccionando a través de autofecundaciones sucesivas (Singh, 1987). Posteriormente, a las líneas que resultan elegidas por sus características morfológicas, fisiológicas y agronómicas, se les evalúan dos cualidades fundamentales para el proceso de hibridación: la aptitud combinatoria general y la aptitud combinatoria específica; en el primer caso se establece el

comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas y, en el segundo, se evalúa respuesta de los híbridos con respecto al promedio de las líneas que los forman (Arellano-Vázquez *et al.*, 2023^a).

El objetivo del presente estudio fue evaluar diez líneas endogámicas de maíz azul, en términos de sus aptitudes combinatorias general y específica para rendimiento, así como por características agronómicas y de planta y grano.

Es escasa la información disponible sobre el proceso de hibridación en maíces azules y en particular sobre las características de las aptitudes combinatorias general y específica de las líneas, con base en las cuales sea factible desarrollar híbridos comerciales en un programa de mejoramiento; por lo que con el presente estudio se pretende contribuir a un conocimiento detallado, concreto y aplicable del potencial genotécnico de las líneas endogámicas élite que se reportan.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 GENOTIPOS

Se utilizaron 10 líneas endogámicas élite de maíz azul generadas por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz Azul del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Las líneas tuvieron cinco generaciones de autofecundación (92% de endogamia) y selección *per se*. El bagaje genético de las líneas bajo estudio incluyó variedades de la raza “Chalqueño”, utilizadas como fuentes de rendimiento y color azul intenso de la capa de aleurona del grano, y de la raza “Bolita”, empleadas por su tipo de planta baja, resistencia al acame de planta y textura semicristalina del grano de color azul-morado (Cuadro 1). La introgresión de germoplasma exótico de la raza “Bolita”, de origen geográfico semitropical seco, al germoplasma de la raza “Chalqueño” de origen templado frío, constituyó un enfoque de este estudio para incrementar las diferencias genéticas entre las poblaciones y conseguir mayor respuesta heterótica, estrategia propuesta por Ron y Hallauer (1997).

2.2 VARIABLES EVALUADAS

Floración masculina, intervalo (d) del riego de germinación a cuando el 50% de las plantas mostraron dispersión de polen. Floración femenina, intervalo (d) del riego de germinación a cuando el 50% de las plantas mostraron emisión de estigmas. Altura de planta, distancia (cm) de la base de la planta al inicio de la espiga (inflorescencia masculina). Rendimiento de grano (REND, ton ha⁻¹), se calculó por el peso de las mazorcas

cosechadas por parcela experimental y se ajustó al 80% de contenido de grano en las mazorcas y a 14% de contenido de humedad. Peso hectolítrico (kg hL^{-1}), se determinó de acuerdo con (Salinas-Moreno y Arellano-Vázquez, 1989). Color de grano (COLOR), se empleó la escala visual (arbitraria) de 5 a 10; en donde 5 y 6 correspondieron a morado, 7 y 8 a azul oscuro y 9 y 10 a color negro.

2.3 DISEÑOS GENÉTICO Y EXPERIMENTAL Y PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

En los experimentos de campo se utilizó un diseño látice simple 10 x 10 con dos repeticiones, en él se incluyeron las cruzas directas, las indirectas (que no se mencionan en este documento) y las diez líneas parentales que se evaluaron.

Se realizaron los cruzamientos dialélicos en sentido directo y recíproco, y se analizaron estadísticamente, de acuerdo con el método 1 modelo 1 de Griffing (1956), para determinar los efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica.

Para el procesamiento estadístico de los datos experimentales se empleó el protocolo propuesto por Zhang y Kang (2003); por último, los datos así organizados, se procesaron mediante el programa estadístico (SAS, 2002).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las diez líneas endogámicas tuvieron un periodo de siembra a floración de 85 a 92 d, altura de planta de 155 a 175 cm y variaron también en el color y la textura de grano (Cuadro 1). El porte de planta de estas líneas fue adecuado considerando que el arquetipo de planta óptimo para la región de los Valles Altos Centrales de México no debe ser demasiado alto para evitar el acame. En el mismo sentido, su nivel de precocidad les permitirá madurar el grano antes de la presencia de las heladas tempranas que son muy frecuentes en esa región (2200–2800 msnm), que abarca los estados de México, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y Ciudad de México.

Atendiendo a la textura de grano, fue muy acertado que la mayoría de las líneas sean del tipo semicristalino (Cuadro 1) y con pesos hectolítricos altos (Cuadro 2), puesto que son más densas que las harinosas, por lo que su rendimiento unitario es mayor y son menos susceptibles a plagas de almacén.

Cuadro 1. Genealogía, días a floración femenina (d), altura de planta (cm) y caracteres del grano de líneas endogámicas de maíz azul de los Valles Altos Centrales de México.

Línea	Genealogía	Floración Femenina	Altura de Planta	COLOR (grano)	Endospermo
L1	BXCC-8-7-1-2-1	85	155	Morado	Semicristalino
L2	BXCC-3-1-3-6-4	85	165	Azul	Semicristalino
L3	BXCC-3-1-3-2-1	85	165	Morado	Semicristalino
L4	BXCC-3-8-3-4-2	85	160	Azul	Harinoso
L5	BXCC-2-1-5-2-6	85	155	Azul	Harinoso
L6	NXOAX-168-2-1-2-2	92	170	Azul	Harinoso
L7	NXOAX-51-1-1-2-1	90	170	Azul	Harinoso
L8	NXOAX-46-1-1-1-1	90	175	Azul	Semicristalino
L9	NXOAX-28-2-3-4-2	88	175	Azul	Semicristalino
L10	NXOAX-19-5-1-1-2	88	175	Azul	Semicristalino

Cuadro 2. Efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG), rendimiento (REND, t ha⁻¹) y características de planta y grano de líneas de maíz azul de los Valles Altos Centrales de México.

Línea	ACG	REND (t ha ⁻¹)	Floración masculina (d)	Altura de planta (cm)	Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)
L1	3.46 **	1.6a	93b	155c	70a
L2	2.80 **	1.2a	92c	170b	70a
L3	1.61 **	1.4a	93b	160c	69a
L4	2.98 **	2.4a	93b	180a	71a
L5	2.45 **	2.5a	95b	150c	69a
L6	2.90 **	1.5a	99a	180a	70a
L7	2.47 **	1.2a	94b	140d	68a
L8	2.38 **	1.7a	96a	180a	68a
L9	3.13 **	2.0a	93b	180a	68a
L10	-2.00 **	2.4a	95b	180a	69a
Error estándar	0.857				
Tukey (p≤0.05)		1.95	3.0	6.0	12

**=Altamente significativo (p≤0.01). En columnas, letras distintas indicaron diferencias significativas (p≤0.05).

Los efectos de ACG (Cuadro 2) fueron significativos (p≤0.01) para todas las líneas; sin embargo, en L10 fueron negativos. Se alcanzaron valores (de 1.61 a 3.46) que se estiman óptimos dado que se trató de líneas derivadas de poblaciones criollas, las cuales son de amplia base genética. Las líneas sobresalientes fueron L1, L4, L6 y L9, con ACG de 3.46, 2.98, 2.90 y 3.13, respectivamente; esto denotó la mejor expresión de efectos aditivos; no obstante, esto no se asoció con los rendimientos más altos obtenidos.

De acuerdo con los datos agronómicos de planta y grano, las líneas se consideraron de ciclo intermedio, porte medio y con grano de textura de harinosa a cristalina.

Cuadro 3. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica para rendimiento de grano de líneas de maíz azul de los Valles Altos Centrales de México.

Líneas										
$\varphi \setminus \sigma$	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
L1		1.2 **	1.0 **	-1.0 **	2.0 **	1.3 **	0.8 *	0.7	0.8 *	2.3 **
L2			-2.6 *	1.4 **	-0.5	2.2 **	0.9 *	1.1 **	1.9 **	2.5 **
L3				0.5	-0.3	-0.5	1.9 **	-0.04	0.8 *	-1.3 *
L4					1.2 **	0.9 **	-0.1	-0.02	1.4 **	3.0 **
L5						1.2 **	1.4	0.0	0.9 *	1.1 **
L6							1.0 **	0.4	0.3	1.8 **
L7								2.3 **	0.4	-0.3
L8									0.4	1.7 **
L9										1.5 **
L10										

*=Significativo ($p \leq 0.05$), **=Altamente significativo ($p \leq 0.01$). Error estándar=1.03.

Respecto a los efectos de ACE (Cuadro 3), hubo diferencias estadísticas en la mayoría de las cruzas directas. Las cruzas entre L1, L2, L4, L6, L8 y L9 y la L10, se asociaron significativamente con los valores superiores de ACE (2.3, 2.5, 3.0, 1.8, 1.7 y 1.5, respectivamente). En el mismo sentido, las cruzas de L1, L2, L3, L4 y L5 con L9 también fueron significativas y alcanzaron valores de 0.8 a 1.9.

En coincidencia con varios autores (Machida *et al.*, 2010; Gudeta *et al.* 2015), el desempeño de los híbridos evaluados se basó en los efectos de dominancia. Así también, los valores altos y significativos de la ACG expresados por las líneas denotaron efectos aditivos favorables en sus combinaciones híbridas; además, los valores significativos de ACE fundamentan el hecho de constituir un patrón heterótico favorable para formar híbridos (Barata y Carena, 2006).

Este último señalamiento se concretó en el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz Azul del CEVAMEX, INIFAP durante el año de 2023 con la liberación comercial de cuatro híbridos con adaptación a los Valles Altos Centrales de México, denominados Vampiro H 10, Vampiro H 12, Drácula H 13 y Chimpancé H 14 (Arellano-Vázquez *et al.*, 2023^b; Arellano-Vázquez *et al.*, 2023^c; Arellano-Vázquez *et al.*, 2023^d).

4 CONCLUSIONES

Las diez líneas endogámicas expresaron características favorables, en términos de precocidad, altura de planta y color y textura de grano.

Hubo efectos genéticos favorables, tanto aditivos como de dominancia, para formar híbridos de alto rendimiento y características óptimas de planta, grano y color azul del grano. Esto se concretó con liberación de cuatro híbridos de maíz de grano azul (Vampiro H 10, Vampiro H 12, Drácula H 13 y Chimpancé H 14) con rendimientos altos, resistentes al acame, con grano con textura de semicristalina a cristalina y de ciclo precoz o intermedio; además de producir granos de color azul intenso.

BIBLIOGRAFÍA

Arellano-Vázquez, J.L.; Gutiérrez-Hernández, G.F.; Ceja-Torres, L.F.; Flores-Gómez, E.; García-Ramírez, E. Quiroz-Figueroa, F.R.; Vázquez-Lozano, P. 2023^a. Combining ability and reciprocal effects for the yield of elite blue corn lines from the Central Highlands of Mexico. *Plants*, 12, 3861. ISSN impreso 2223-7747. ISSN digital: 2594-0252. <https://doi.org/10.3390/plants12223861>.

Arellano-Vázquez, J.L.; Gutiérrez-Hernández, G.F.; Rojas-Martínez, I.; Fernández-Sosa, R. 2023^b. Híbridos de maíz azul para localidades de alto, mediano y bajo potencial productivo del altiplano central de México. XIII Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Chihuahua, Chih. México. pp. 526-528.

Arellano-Vázquez, J.L.; Gutiérrez-Hernández, G.F.; Rojas-Martínez, I.; Fernández-Sosa, R. 2023^c. Vampiro H 12 híbrido de maíz azul madurez intermedia grano semicristalino para áreas de temporal y riego del altiplano central de México. XIII Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Chihuahua, Chih. México. pp. 529-531.

Arellano-Vázquez, J.L.; Rojas-Martínez, I.; Fernández-Sosa, R. 2023^d. Vampiro H 10 híbrido de maíz azul madurez intermedia grano harinoso para áreas de temporal y riego del altiplano central de México. XIII Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Chihuahua, Chih. México. pp. 745-748.

Arellano-Vázquez, J.L.; Rojas-Martínez, I.; Gutiérrez-Hernández, G.F. 2014. Variedades de maíz azul Chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad del rendimiento. *Rev Mex Cienc Agríc* 5. 1469-1480. DOI: 10.293 12/remexca.v5i8.828.

Barata, C.; Carena, M.J. 2006. Classification of North Dakota maize inbred lines into heterotic groups based on molecular and testcross data. *Euphytica*, 151: 201-208.

Damián-Medina, K.; Salinas-Moreno, Y.; Milenkovic, D.; Figueroa-Yáñez, L.; Marino-Marmolejo, E.; Higuera-Ciapara, I.; Vallejo-Cardona, A.; Lugo-Cervantes, E. 2020. *In silico* analysis of antidiabetic potential of phenolic compounds from blue corn (*Zea mays* L.) and black bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Heliyon* 6, e03632. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03632>.

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation with to diallel crossing systems. *Aust J Biol Sci* 9, 463-493. <https://doi.org/10.1071/BI9560463>.

Gudeta, N.G.; Dagne, W.G.; Habtamu, Z.U. 2015. Heterosis and combining ability of highland quality protein maize inbred lines. *Maydica*, 60, 1-12.

- Lee, E.A.; Tollenaar, M. 2007. Physiological basis of successful breeding strategy for maize grain yield. *Crop Sci*, 47. S202-S215.
- Machida, L.; Derera, J.; Tongoona, P.; Macrobert, J. 2010. Combining ability and reciprocal cross effects of elite, protein maize inbred lines in subtropical environments. *Crop Sci*, 50, 1708–1717. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.09.0538>.
- MacRobert, J.F.; Sentimela, P.S.; Gethi, J.; Worku, M. 2014. Manual de producción de semilla de maíz híbrido. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. CIMMYT, México, D.F., 37 p. Available online: <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/16849/57179.pdf> (consultado 9 Diciembre 2023).
- Ron-Parra, J.; Hallauer, A.R. 1996. Utilization of exotic maize germplasm. *Plant Breed Rev* 14, 165–187. <https://doi.org/10.1002/9780470650073.ch6>.
- Salinas-Moreno, Y.; Arellano-Vázquez, J.L. 1989. Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Rev Fitotec Mex* 12, 129–135.
- SAS (Statistical Analysis System). 2002. SAS/STAT Ver. 9; SAS Inst. Inc.: Cary, NC, USA.
- Shah, T.R.; Prasad, K.; Kumar, P. 2016. Maize a potential source of human nutrition and health: A review. *Cogent Food Agric* 2, 1166995. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1166995>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de información agroalimentaria y pesquera, agricultura. Ciudad de México, México. Available online: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola> (Consultado el 3 de Agosto 2023).
- Singh, J. 1987. Field manual of maize breeding procedures. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy. 209 p.
- Zhang, Y.; Kang, M.S. 2003. Diallel-SAS: A program for Griffing's diallel methods. In *Handbook of Formulas and Software for Plant Geneticists and Breeders*. Kang, M.S., ed.; Food Products Press: New York, NY, USA. pp. 1–19.

SOBRE O ORGANIZADOR

Manuel Simões é licenciado em Engenharia Biológica e doutorado em Engenharia Química e Biológica. Atualmente é Professor Associado com Agregação e Pró-Diretor da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), e investigador sénior do Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia (LEPABE) do Departamento de Engenharia Química da FEUP. Nos últimos anos esteve envolvido em 10 projetos nacionais (5 como investigador principal) e 6 projetos europeus. Foi membro do comité de gestão da ação COST BACFOODNET (Rede Europeia para Mitigação da Colonização e Persistência Bacteriana em Alimentos e Ambientes de Processamento de Alimentos) e esteve envolvido em outras 2 ações: iPROMEDAI e MUTALIG. Manuel Simões tem mais de 190 artigos publicados em revistas indexadas no Journal of Citation Reports, 4 livros (1 como autor e 3 como editor) e mais de 40 capítulos em livros. Ele é Editor Associado para o jornal Biofouling - The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research (o periódico mais antigo sobre pesquisa em biofilme), Editor Associado para o jornal Frontiers in Microbiology e Section Editor-in-Chief para o jornal Antibiotics. Seus principais interesses de pesquisa estão focados nos mecanismos de formação de biofilme e seu controlo com agentes antimicrobianos, particularmente usando novas moléculas antimicrobianas, e no uso de microalgas para tratamento de efluentes. É um dos investigadores mais citados do mundo (top 1%), tendo sido distinguido nos últimos dois anos no índice Essential Science Indicators, um dos mais prestigiados indicadores da qualidade de investigação.

Identificação SCOPUS: 55608338000; Nº orcid: 0000-0002-3355-4398

ÍNDICE REMISSIVO

A

ADN 22, 29, 30, 36, 37, 39, 40

C

Calidad y productividad 69, 105

Cellular senescence 13, 17, 18, 19, 20, 21

Células de cáncer 1, 2

Chronoarchitecture 13, 18, 19, 20

Citotoxicidad 1, 2, 4, 5

Comercio justo 69, 104, 107, 108

Comunidades Tének 69, 71, 77, 78, 79, 80, 84, 87, 88, 93, 100, 101, 102, 103, 104, 107, 109, 112, 114, 115, 116

D

Desarrollo sostenible 68, 69, 70, 71, 87, 92, 93, 108, 111, 114, 115, 116

E

Endogamia 46, 48

Evaluación sensorial 54

F

Fenol cloroformo 36, 37, 39

H

Heterochrony 13, 18

Hibridación 46, 47, 48

I

Iridovirus 22, 28, 34

L

Lacasa 1, 2, 3, 4, 9

M

Maíz pigmentado 46

N

Neurodegeneration 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21

Neuronal death 13, 14, 15, 16, 17, 19

P

PCR 22, 29, 30, 33, 34, 36, 37, 40, 41, 42

Pez cebra 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33

Piloncillo artesanal 69, 70, 73, 86, 87, 92, 107, 108, 111

Proteína de insecto 54

Q

Quercetina 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

S

Salchichas 54, 56, 57, 58, 61, 62, 63, 64, 65

Sphenarium purpurascens 54, 55, 57, 64, 65, 67

U

Ultrasonido 54, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 64, 65

Z

Zea mays L. 46, 52