

TRABAJOS CIENTÍFICOS DE LA REUNIÓN DE 2025 DE FISIOLÓGÍA VEGETAL

Editores

Esmeralda Judith Cruz Gutiérrez
Marco Antonio Ramírez Mosqueda

Compiladores

Alma Armenta Medina
José Luis Aguirre Noyola
Jorge David Cadena Zamudio

Autores

Mirna Valdez Hernández.
Casandra Reyes García.
René Garruña Hernández
Serafín Cruz Izquierdo
Humberto López Delgado
Jorge Santamaría Fernández
Carlos Trejo López
Ximena Valeria Martínez Sánchez
Carlos Alberto Zúñiga Rizo
José Julián Apraez Muñoz
Et al.



Agricultura
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural



**Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias**

Av. Progreso No. 5, Col. Barrio de Santa Catarina,
Alcaldía Coyoacán, C.P. 04010, Ciudad de México

Centro Nacional de Recursos Genéticos

Boulevard de la Biodiversidad #400, Rancho Las
Cruces, Tepatlán de Morelos, Jalisco. CP. 57600

Publicación especial No. 17, noviembre 2025

ISBN: 978-607-37-1835-6

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

Dr. Julio Antonio Berdegúe Sacristán

Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno de México

Lic. Leonel Efraín Cota Montaña

Subsecretario de Agricultura y Desarrollo Rural

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES, FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Alejandro Espinosa Calderón

Director General Interino

Dr. Rafael Ariza Flores

Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

Dr. Luis Ortega Reyes

Coordinador de Planeación y Desarrollo

Lic. Leonardo Ávila Franco

Titular de la Unidad Jurídica

Mtro. Martín Rafael González Hernández

Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO NACIONAL DE RECURSOS GENÉTICOS

Dr. Carlos Hugo Avendaño Arrazate

Director del Centro Nacional de Recursos Genéticos

LCP. Mirian Del Rocío Zepeda Mercado

Jefatura de Administración

LSI. María Elena Cortes Castro

Jefatura de Operación

TRABAJOS CIENTÍFICOS DE LA REUNIÓN 2025 DE FISIOLÓGÍA VEGETAL

TRABAJOS CIENTÍFICOS DE LA REUNIÓN DE 2025 DE FISIOLÓGÍA VEGETAL

EDITORES Y COMPILADORES

Dra. Esmeralda Judith Cruz Gutiérrez

Investigadora de la Conservación de Recursos Genéticos Vegetales

Centro Nacional de Recursos Genéticos

Dr. Marco Antonio Ramírez Mosqueda

Investigador de la Conservación de Recursos Genéticos Vegetales

Centro Nacional de Recursos Genéticos

Dra. Alma Armenta Medina

Investigadora de la Colección de Ácidos Nucleicos

Centro Nacional de Recursos Genéticos

Dr. José Luis Aguirre Noyola

Investigador de la Colección de Ácidos Nucleicos

Centro Nacional de Recursos Genéticos

Dr. Jorge David Cadena Zamudio

Investigador de la Colección de Ácidos Nucleicos

Centro Nacional de Recursos Genéticos



Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Centro Nacional de Recursos Genéticos
Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México
Publicación especial Núm. 17
Noviembre de 2025

D.R. © Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Progreso Núm. 5. Colonia Barrio de Santa Catarina
Alcaldía Coyoacán, C.P. 04010, Ciudad de México, México.
Tel. (55) 3871-8700

www.gob.mx/inifap

Publicación Especial N°17

TRABAJOS CIENTÍFICOS DE LA REUNIÓN DE 2025 DE FISIOLÓGÍA VEGETAL

ISBN: 978-607-37-1835-6

Primera Edición: 2025

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito a la Institución.

Hecho en México (si es digital)

Organizadores



Agricultura
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



**Tepatitlán
de Morelos**
GOBIERNO MUNICIPAL 2024 - 2027



**Colegio de
Postgraduados**



URA

Universidad Regional de los Altos

Educación, Cultura y Progreso



SOMEFIVE
SOCIEDAD MEXICANA DE FISIOLÓGIA VEGETAL

Patrocinadores





Fundadores de la Sociedad Mexicana de Fisiología Vegetal (SOMEFIVE AC.)

Dr. Francisco Alfonso Larqué Saavedra† - Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY).
Dr. Serafín Cruz Izquierdo - Colegio de Postgraduados (CP).
Dr. Marcos R. Soto Hernández - Colegio de Postgraduados (CP).
Dr. Oscar J. Ayala Garay – Colegio de Postgraduados (CP).
Dr. Carlos Trejo López - Colegio de Postgraduados (CP).
Dra. Mariana Palma Tenango – SEPI-ESIME, Instituto Politécnico Nacional (IPN).
Dr. Humberto López Delgado – Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
Dr. René Garruña Hernández – Instituto Tecnológico Conkal (IT Conkal).
Dr. Eduardo Villanueva Couoh - Instituto Tecnológico Conkal (IT Conkal).
Dra. Mirna Valdez Hernández – El Colegio de la Frontera Sur-Chetumal (ECOSUR).
Dra. Claudia González Salvatierra - Instituto Tecnológico de Chetumal (IT Chetumal).
Dra. Casandra Reyes García – CICY.
Dr. Jorge Santamaría Fernández – CICY.
Dr. José Luis Andrade Torres – CICY.

Mesa Directiva de la Sociedad Mexicana de Fisiología Vegetal (SOMEFIVE AC.)

Dra. Mirna Valdez Hernández. Presidenta
Dra. Casandra Reyes García. Tesorera
Dr. René Garruña Hernández. Secretario
Dr. Serafín Cruz Izquierdo. Vocal
Dr. Eduardo Villanueva Couoh. Vocal

Organizadores de la Reunión de Fisiología Vegetal

Dra. Esmeralda Judith Cruz Gutiérrez. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP. Presidenta del Comité de Organización Local.

Mtro. Jorge Antonio Gómez Reynaga. Universidad Regional de los Altos. URA.

Dra. Mirna Valdez Hernández. El Colegio de la Frontera Sur.

Lic. Luis Enrique De La Torre Gómez. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Mtro. Miguel Ángel Hernández Servín. Universidad Regional de los Altos. URA.

Dr. René Garruña Hernández. Instituto Tecnológico de Conkal.

Dra. Casandra Reyes García. Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Dr. Serafín Cruz Izquierdo. Colegio de Postgraduados.

Dr. Eduardo Villanueva. Instituto Tecnológico de Conkal.

Dr. Andres Mayorga Mendoza. Universidad Regional de los Altos. URA.

Dra. Martha Andrea González Alfaro. Universidad Regional de los Altos. URA.

Dr. Marco Antonio Ramírez Mosqueda. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Dr. Martín Quintana Camargo. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Dr. Juan Manuel Pichardo González. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Dra. Alma Armenta Medina. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Mtra. Liliana Ayala León. Universidad Regional de los Altos. URA.

Mtra. Imelda León López. Universidad Regional de los Altos.

Mtro. Carlos Ivan Elias Jimenez. Universidad Regional de los Altos. URA.

Ing. Carlos Rafael Morales Campos. Universidad Regional de los Altos. URA.

Dr. Carlos Hugo Avendaño Arrazate. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Dr. Jorge Manuel Santamaría Fernández. Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Dr. Humberto López Delgado. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Dr. Carlos Trejo López. Colegio de Postgraduados.

M. C. David Trujillo García. Colegio de Postgraduados.

Dra. Martha Elena Mora Herrera. Universidad Autónoma del Estado de México.

Dr. Ebandro Uscanga Mortera. Colegio de Postgraduados.

Dr. Rómulo García Velasco. Universidad Autónoma del Estado de México.

Dra. Claudia Berenice Espitia Flores. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de los Altos.

Dra. Jeniffer Ivette Vargas Abonce. Colegio de Postgraduados.

M. C. Oscar Santos Perez Heredia. Colegio de Postgraduados.

Dr. Ramón Ignacio Arteaga Garibay. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

M. C. Abel Santos Juárez Cortéz. Centro de Educación y Capacitación Forestal No. 2, Oaxaca.

Dr. Jorge David Cadena Zamudio. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Arbitros Científicos

Dra. Esmeralda Judith Cruz Gutiérrez. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Dra. Mirna Valdez Hernández. El Colegio de la Frontera Sur.

Dra. Casandra Reyes García. Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Dr. René Garruña Hernández. Instituto Tecnológico de Conkal.

Dr. Serafín Cruz Izquierdo. Colegio de Postgraduados.

Dr. Jorge Manuel Santamaría Fernández. Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Dr. Carlos Trejo López. Colegio de Postgraduados.

Dr. Ebandro Uscanga Mortera. Colegio de Postgraduados.

Dr. Eduardo Villanueva. Instituto Tecnológico de Conkal.

Dr. Humberto López Delgado. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Dra. Martha Elena Mora Herrera. Universidad Autónoma del Estado de México.

Dr. Jorge David Cadena Zamudio. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Dr. José Luis Aguirre Noyola. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Dr. Juan Manuel Pichardo González. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Dr. Marco Antonio Ramírez Mosqueda. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Dr. Martín Quintana Camargo. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Dr. Miguel Ángel Martínez Ortiz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

M. C. Abel Santos Juárez Cortéz. Centro de Educación y Capacitación Forestal No. 2, Oaxaca.

M. C. David Trujillo García. Colegio de Postgraduados.

Dr. Rómulo García Velasco. Universidad Autónoma del Estado de México.

Dra. Alma Armenta Medina. Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Dra. Claudia Berenice Espitia Flores. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de los Altos.

Dra. Jeniffer Ivette Vargas Abonce. Colegio de Postgraduados.

M. C. Oscar Santos Pérez Heredia. Colegio de Postgraduados.

Contenido

PRESENTACIÓN.....	1
FISIOLOGÍA DE PLANTAS DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS....	2
RESPUESTAS MORFOGENÉTICAS EN <i>PINGUICULA DEBBERTIANA</i> CRECIENDO <i>IN VITRO</i> EN MEDIOS LÍQUIDOS.....	3
EFFECTO DE LA POSICIÓN DEL FRUTO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y FISIOLÓGICAS DE LAS SEMILLAS DE <i>Echinocactus platyacanthus</i>.....	8
EFFECTO DE LA LUZ EN LA GERMINACIÓN DE TRES VARIANTES SILVESTRES Y TRES DOMESTICADAS DEL GÉNERO <i>Opuntia</i>.....	12
EFFECTO DEL FOTOPERIODO SOBRE EL CRECIMIENTO Y METABOLISMO <i>IN VITRO</i> DE <i>PLUMBAGO PULCHELLA</i> EN MEDIO LÍQUIDO	16
<i>Tillandsia recurvata</i> COMO PARÁSITA ESTRUCTURAL, EFFECTO SOBRE LA REDISTRIBUCIÓN HIDRÁULICA EN BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO	20
FOTOSÍNTESIS EN FENOFASES TEMPRANAS DE <i>Tillandsia caput-medusae</i>.....	21
REGULADORES DE CRECIMIENTO Y SU INFLUENCIA EN FRUTOS DE TUNA CON Y SIN POLINIZACIÓN.....	22
FISIOLOGÍA DE FORRAJES Y CULTIVOS	23
EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE PROPAGACIÓN AGÁMICA Y TECNOLOGÍAS DE PLANTACIÓN EN PRODUCCIÓN DE SEMILLA CATEGORIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR CON SISTEMA CUBANO	24
ACUMULACIÓN DE PROLINA, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y EXPRESIÓN DE GENES EN GENOTIPOS DE SOYA TOLERANTES A SEQUÍA.....	28
CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA TEMPRANA COMO VENTAJA ADAPTATIVA FRENTE AL ESTRÉS POR ALTAS TEMPERATURAS EN EL CULTIVO DE TRIGO.....	34
EFFECTO DE FECHAS DE SIEMBRA EN EL CONTENIDO DE CLOROFILA DE VARIEDADES DE SOYA EN ETAPAS REPRODUCTIVAS	40
COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y FISIOLÓGICO DE AJO JASPEADO (<i>Allium sativum</i> L.) CULTIVADO BAJO RIEGO DEFICITARIO	45
EFFECTO DEL SILICIO SOBRE LA PERDIDA DE K⁺ EN RESPUESTA AL ESTRÉS SALINO EN RAÍCES DE CEBADA, TRIGO Y TRITICALE	50
MICROCLIMA Y FISIOLOGÍA DEL CACAO BAJO DOS NIVELES DE DIVERSIDAD ARBÓREA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DURANTE LA SEQUÍA EN TABASCO, MÉXICO.....	51
EFFECTO DE LA SEQUÍA EN LA NODULACIÓN DE LA RAÍZ DEL FRIJOL.....	52
EL SISTEMA MILPA DEL SURESTE DE MÉXICO COMO ALTERNATIVA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: EVIDENCIAS MICROCLIMÁTICAS Y ECOFISIOLÓGICAS	53
FISIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS VEGETALES	54
EFFECTO DEL FOTOPERIODO EN LA CALLOGÉNESIS DE EXPLANTES INTERNODALES Y FOLIARES DE <i>Solanum tuberosum</i> L. VARIEDAD CITLALI.....	55
RESPUESTA MORFOGÉNICA DE EXPLANTES FOLIARES Y NODALES DE <i>Solanum tuberosum</i> L. EN DIFERENTES MEDIOS DE CULTIVO	60
CALLOGÉNESIS Y CAULOGÉNESIS EN PLANTAS DE <i>Solanum tuberosum</i> L. CON PRETRATAMIENTOS DE ÁCIDO SALICÍLICO Y PERÓXIDO	67

DE HIDRÓGENO	67
ACTIVIDAD ENZIMÁTICA ANTIOXIDANTE EN <i>Solanum tuberosum</i> DESPUÉS DE 40 AÑOS DE PRESERVACIÓN EN BANCO DE GERMOPLASMA <i>IN VITRO</i>	73
CONSERVACIÓN DE TEJIDO VEGETAL DE FRESA (<i>Fragaria</i> sp.) EN CONDICIONES DE CRECIMIENTO MÍNIMO ADICIONADO CON ÁCIDO SALICÍLICO	77
CONSERVACIÓN DE TEJIDO VEGETAL DE FRESA (<i>Fragaria</i> sp.) EN CONDICIONES DE CRECIMIENTO MÍNIMO	80
EVALUACIÓN MORFOMÉTRICA DE FRUTOS Y POLIEMBRIONÍA EN SEMILLAS DE PORTAINJERTOS CÍTRICOS	83
RESPUESTA A LA CALLOGÉNESIS DE EXPLANTES FOLIARES DE GENOTIPOS DE PAPA	89
RESPUESTA DE ACCESIONES CHAYOTE (<i>Sechium</i> spp.) EN CONDICIONES DE CULTIVO <i>IN VITRO</i>	93
RESPUESTA <i>IN VITRO</i> DE DIFERENTES CULTIVARES DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum</i> spp.) CON IMPORTANCIA AGROAZUCARERA EN MÉXICO	96
LAS NANOPARTÍCULAS DE SILICIO AFECTAN POSITIVAMENTE EL ENRAIZAMIENTO <i>In vitro</i> DE VANILLA (<i>Vanilla planifolia</i> Jacks.) EN BIORREACTORES RITA®	100
IMPACTO DE LA DOMESTICACIÓN EN EL PERFIL METABOLÓMICO DE <i>SECHIUM EDULE</i> Y LA VARIEDAD <i>ALBUS MINOR</i> : DIFERENCIAS ENTRE ESTADO SILVESTRE Y DOMESTICACIÓN	103
CONSERVACIÓN DE TEJIDO VEGETAL DE ZARZAMORA (<i>Rubus ulmifolius</i>) EN CONDICIONES DE CRECIMIENTO MÍNIMO ADICIONADO CON ÁCIDO SALICÍLICO	108
DIVERSIDAD DE RECURSOS GENÉTICOS DE AJONJOLÍ: EVALUACIÓN DE PROTEÍNAS Y GRASAS	111
DESARROLLO DE CARDO MARIANO (<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.) Y SU CONTENIDO DE SILIMARINA EN TRES CONCENTRACIONES DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA	115
EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO SOBRE LA VIABILIDAD Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE <i>NOTHOSCORDUM BIVALVE</i> (L.) BRITTON (AMARYLLIDACEAE)	119
EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DEL BRAQUIQUITO [<i>BRACHYCHITON POPULNEUS</i> (SCHOTT & ENDL.) R. BR. SUBSP. <i>POPULNEUS</i> (MALVACEAE)]	120
APLICACIÓN EN EL SUSTRATO DE MELATONINA COMO BIOESTIMULANTE DE PLÁNTULAS DE JITOMATE	121
EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DEL <i>KIMNACHIA RAMULOSA</i> (SALM-DYCK) S. ARIAS & N. KOROTKOVA (CACTACEAE)	122
EVIDENCIA DE METABOLISMO ÁCIDO DE LAS CRASULÁCEAS EN PLÁNTULAS DE P. DEBBERTIANA CRECIENDO <i>IN VITRO</i>	123
ESTUDIO DE CERTIFICACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ESPECIES COMERCIALES ORNAMENTALES CON FLORES	124
ESTUDIO DE LA GERMINACIÓN CELOSIA ARGENTEA L. VAR. CRISTATA (AMARANTHACEAE)	125
EVALUACIÓN DE DISTINTOS TRATAMIENTOS PRERGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE MORELLA CERIFERA L. (SMALL.) (MYRICACEAE)	126
EVALUACIÓN DE DISTINTOS TRATAMIENTOS PRERGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE <i>CHENOPODIUM GRAVEOLENS</i> LAG. & RODR. (AMARANTHACEAE)	127
EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DEL <i>KIMNACHIA RAMULOSA</i> (SALM-DYCK) S. ARIAS & N. KOROTKOVA (CACTACEAE)	128
EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ASCLEPIAS LINARIA CAV. (APOCYNACEAE)	129

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE FOENICULUM VULGARE MILL. (APIACEAE)	130
EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE GONOLOBUS NIGER (CAV.) R. BR. EX SCHULT. (APOCYNACEAE)	131
FOTOSÍNTESIS DE TOMATE EN TEMPERATURA ALTA Y CO ₂ ELEVADO: GENES, PROTEÍNAS E INTERCAMBIO DE GASES	132
EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL CO ₂ ELEVADO EN LA ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA DE PAPAYA (CARICA PAPAYA)	133
REQUERIMIENTOS DE LUZ EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE PINUS CHIAPENSIS EN VERACRUZ	134
REQUERIMIENTOS DE LUZ EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE PINUS CHIAPENSIS EN VERACRUZ	135
ANATOMÍA Y SEGUIMIENTO DE GERMINACIÓN BAJO ESTEREOSCOPIO EN SEMILLAS DE MOMORDICA CHARANTIA DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN	136
EFFECTOS MORFO-FISIOLÓGICOS DE LA IRRADIACIÓN CON ⁶⁰ CO EN ALGODÓN	137
EFFECTO DE ACARICIDAS BOTÁNICOS EN EL INTERCAMBIO DE GASES EN PLANTAS DE PAPAYA	138
EFFECTO DE LA IRRADIACIÓN GAMMA EN VARIABLES FISIOLÓGICAS Y PESO DE FRUTO DE POBLACIONES M ₁ DE Physalis peruviana L.	139
EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE SALVIA MEXICANA L. (LAMIACEAE)	140
COLECCIONES VIVAS DE CARICA PAPAYA L., A PARTIR DE CULTIVO IN VITRO Y SEMILLA: ASPECTOS FISIOLÓGICOS DURANTE SU ESTABLECIMIENTO	141
ECOFISIOLOGÍA VEGETAL	142
APLICACIÓN R-SHINY PARA LA CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE RECURSOS FITOGENÉTICOS, CASO VANILLA DRESSLERI SOTO ARENAS	143
TILLANDSIA COMO SENSORES VIVOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL AÉREO EN LA ZONA METROPOLITANA DE MÉRIDA	148
ESTRÉS FISIOLÓGICO POR CONTAMINACIÓN VEHICULAR EN ÁRBOLES DE LA CIUDAD DE MÉRIDA YUCATÁN	152
DINÁMICA DE ACUMULACIÓN DE MACRONUTRIMENTOS EN TRES VARIEDADES DE AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS L.	157
DINÁMICA DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO COMPARATIVO DE TRES VARIEDADES DE AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS L.	158
DIVERSIDAD DE HONGOS ENDÓFITOS EN DOS ORQUÍDEAS EPÍFITAS NATIVAS DE LA COSTA DE OAXACA	159
EFFECTO FISIOLÓGICO DEL TAMAÑO DEL CRISTAL DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN PLÁNTULAS DE CAFÉ (COFFEA ARABICA L.)	161
ACUMULACIÓN DE LITIO Y ALTERACIONES FISIOLÓGICAS EN SALVINIA MINIMA: IMPLICACIONES ADAPTATIVAS ANTE CONTAMINACIÓN POR METALES EMERGENTES	162
EFFECTO FISIOLÓGICO DE BIOCHAR EN PLANTAS DE CAFÉ (Coffea arabica L.) EN CONDICIONES DE VIVERO	163
FLUJOS DE CARBONO, AGUA Y ENERGÍA EN DIFERENTES ECOTIPOS DE MANGLAR DE YUCATÁN	164
LA INFERENCIA BAYESIANA CÓMO HERRAMIENTA EN LA INVESTIGACIÓN DE LA FOTOSÍNTESIS	165

ASPECTOS GERMINATIVOS Y EMERGENCIA EN SEMILLAS DENTRO DE UN GRADIENTE DE ESTRÉS HÍDRICO EN <i>TRICHILIA HAVANENSIS</i> JACQ.....	166
CUANDO XILEMA YA NO ES SEGURO: ADAPTACIONES EN LAS <i>TILLANDSIA</i> (BROMELIACEAE) EPÍFITAS PARA TRANSPORTAR AGUA POR LOS TRICOMAS FOLIARES	167
CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES TOTALES SOLUBLES EN <i>CARYA ILLINOENSIS</i> KOCH EN TRES SITIOS DE LA COMARCA LAGUNERA.....	168
¿CÓMO AFECTA EL ENTORNO URBANO A LA FISIOLÓGÍA DE ÁRBOLES EN LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN?	169
ESTRATEGIAS ECOFISIOLÓGICAS DE <i>HYMENOCALLIS LITTORALIS</i> (JACQ.) SALISB. ANTE ESTRÉS HÍDRICO Y LUMÍNICO: EVIDENCIAS PARA SU USO EN CONSERVACIÓN COSTERA	170
EFFECTO DE LA LUZ EN LA GERMINACIÓN DE <i>PINUS CHIAPENSIS</i> EN VIVERO.....	171
PERSPECTIVAS E INNOVACIÓN EN LA FISIOLÓGÍA.....	172
CAMBIOS EN LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA RADICULAR EN RESPUESTA A LA INTERACCIÓN CON BACTERIAS DE MAIZ: PERSPECTIVAS DESDE <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i>	173
INDUCCIÓN DE FRUTOS PARTENOCÁRPICOS EN <i>Vanilla planifolia</i> Jacks ex Andrews MEDIANTE LA APLICACIÓN DE REGULADORES DE CRECIMIENTO: AVANCES	177
PREINMUNIZACIÓN DE <i>Citrus latifolia</i> Tanaka Y SU EFECTO EN EL PESO ESPECÍFICO DE LA HOJA E ÍNDICE DE VERDOR.....	182
ACEITES ESENCIALES Y NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANO PARA EL CONTROL DE <i>Fusarium oxysporum</i>	187
SISTEMA DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ULTRA BAJA EN ÁRBOLES: ENERGÍA Y SALUD ARBÓREA	191
VISIÓN Y SENSORES EN EL CAMPO: MONITOREO AUTOMATIZADO DE FENOLOGÍA-POLINIZADORES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO	192
MODULACIÓN DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA FOTOSINTÉTICA EN PLANTAS DE FRESA POR APLICACIONES DE ÁCIDO ÚSNICO.....	193
INFLUENCE OF POTASSIUM NUTRITION ON THE PHOTOSYNTHETIC PERFORMANCE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF CACAO CLONE CCN51 (<i>THEOBROMA CACAO</i> L.) CLONES: EVIDENCE FROM CONTROLLED ENVIRONMENT TRIALS.....	194
SUPLEMENTACIÓN CON NANOPARTÍCULAS DE Fe_3O_4 Y ZNO EN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA FOTOSINTÉTICA DE PLANTAS DE LECHUGA	195
EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN Y PÉRDIDA DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS DE <i>ASCLEPIAS GLAUDESCENS</i> KUNTH (APOCYNACEAE)	196
EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE AGASTACHE MEXICANA (KUNTH) LINT & EPLING (LAMIACEAE)	197
EVALUACIÓN DE DISTINTOS TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE PLUMERIA RUBRA L. (APOCYNACEAE).....	198
CULTIVO <i>IN VITRO</i> DE CALLOS DE <i>Echeveria laui</i>	199
PROPAGACIÓN <i>IN VITRO</i> DE <i>Pinguicula debbertiana</i> Speta & Fuchs.....	200
DESARROLLO DE MICROPLANTAS DE <i>GUARIANTHE AURANTIACA</i> Y <i>LAELIA ANCEPS</i> , MEDIADAS POR ÁCIDO SALICÍLICO	201
DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE BROMELIAS EPÍFITAS ANTE ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.....	202

CRECIMIENTO IN VITRO Y ACLIMATACIÓN DE PLANTAS DE ORQUÍDEA <i>ENCYCLIA CORDIGERA</i> (KUNTH) DRESSLER.....	203
EXPLORACIÓN DE LA RESPUESTA MORFOGENÉTICA DE LA ORQUÍDEA <i>TRICHOCENTRUM ANDREANUM</i> (COGN.) R. JIMÉNEZ & CARNEVALI A PARTIR DE PLÁNTULAS ASIMBIÓTICAS GERMINADAS <i>IN VITRO</i>	204
EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN Y PÉRDIDA DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS DE <i>ZEPHYRANTHES FOSTERI</i> TRAUB (AMARYLLIDACEAE).....	205
EVALUACIÓN DE DISTINTOS TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE <i>CASTILLEJA TENUIFLORA</i> BENTH. (OROBANCHACEAE).....	206
USO DE LED DUAL SPECTRUM EN LA FOTOMORFOGÉNESIS DE ESQUEJES DE JITOMATE (<i>SOLANUM LICOPERSICUM</i> L.).....	207
MELATONINA COMO HERRAMIENTA AGRONÓMICA PARA MITIGAR LOS EFECTOS DE LA SALINIDAD EN EL CULTIVO DE CHILE HABANERO (<i>CAPSICUM CHINENSE</i> JACQ.).....	208
IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DEL FACTOR DE TRANSCRIPCIÓN CRWRKY DE <i>CHLAMYDOMONAS REINHARDTII</i> Y SU PARTICIPACIÓN EN LA RESPUESTA A ESTRÉS ABIÓTICO.....	209
AGRADECIMIENTOS	210

PRESENTACIÓN.

La Sociedad Mexicana de Fisiología Vegetal está conformada por investigadores, estudiantes, empresarios e instituciones públicas y privadas. El objetivo de esta red es promover, difundir, fortalecer la colaboración y consolidar el intercambio de información entre sus miembros. La Fisiología vegetal describe los procesos que hacen posible la continuidad de este reino sobre el planeta.

Ayuda a explicar procesos como la floración, fotosíntesis, la respiración, crecimiento, germinación, intercambio de gases, fotoperiodismo, respiración, entre otros. Por ello es importante que los expertos del área difundan información que fortalezca los conceptos de esta disciplina. La Red Mexicana de Fisiología Vegetal se fundó el 07 de diciembre de 2017 en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, México. Transformándose en Sociedad Mexicana de Fisiología Vegetal (SOMEFIVE AC.) en 2025.

El 6° Congreso de Fisiología Vegetal se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Nacional de recursos genéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Para en la ciudad de Tepatitlán de Morelos, Jalisco en octubre de 2025. La finalidad de este congreso fue difundir los resultados recientes de investigación y las tecnologías de vanguardia en el área de la fisiología vegetal. Así como servir como espacio de vinculación entre productores, industriales, empresarios, técnicos, investigadores, profesores, instituciones, estudiantes, agentes de cambio, funcionarios del sector y público en general, para contribuir en el desarrollo y aportar conocimientos de fisiología vegetal para los diferentes problemas que se tengan en el área científica y en el campo mexicano.

La presente obra muestra los resúmenes y trabajos en extenso de las investigaciones presentadas durante el congreso, contando con una amplia participación de diversas instituciones del País. Lo cual es un indicador del gran interés que la comunidad científica nacional e internacional tiene en conocer los avances sobre la investigación relacionada con la Fisiología Vegetal. Las presentes memorias, deben servir de base para fortalecer la colaboración entre instituciones e investigadores, así como fuente de inspiración de nuevos proyectos en esta importante área del conocimiento. Esta obra está dirigida a productores, profesionistas, investigadores, estudiantes y a la sociedad en general, interesados en la Fisiología Vegetal.

Dra. Mirna Valdez Hernández.

Investigadora de El Colegio de la Frontera Sur.

Dr. Marco A. Ramírez Mosqueda

Investigador del Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP

Dra. Esmeralda J. Cruz Gutiérrez

Investigadora del Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP

FISIOLOGÍA DE PLANTAS DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

RESPUESTAS MORFOGENÉTICAS EN *PINGUICULA DEBBERTIANA* CRECIENDO *IN VITRO* EN MEDIOS LÍQUIDOS

Ximena Valeria Martínez Sánchez¹, Cesar Antonio Colunga Silva¹, Yolanda Pozos Ruiz¹, Miguel Verástegui Vidal¹, Sergio Camacho Montiel¹, Gerardo Ortiz Montiel^{1*}

¹Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, Unidad de Morfología y Función, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Los Barrios # 1, Col. Los Reyes Iztacala, C.P. 54090, Tlalnepantla, Estado de México.

*Autor de correspondencia: jgerardo@unam.mx

PALABRAS CLAVE: *Pinguicula debbertiana*, *in vitro*, fotoperiodo, medio líquido

INTRODUCCIÓN

El género *Pinguicula* corresponde a uno de los grupos de plantas insectívoras más exitosos, el cual posee una amplia distribución en las regiones templadas del hemisferio norte y con una notable presencia en México, lugar que es reconocido como el principal centro moderno de diversificación pues cuenta con alrededor del 50% de las especies en el país y la gran mayoría de ellas está descrita como microendémicas. El cultivo de tejidos vegetales permite propagar fácil y rápidamente especies de interés a partir de semillas o un explante, o el fragmento de una planta, que se coloca en un medio nutritivo para su regeneración hasta obtener un organismo completamente nuevo. *Pinguicula debbertiana* F. Speta & F. Fuchs, es una especie endémica mexicana que se comercializa por sus características ornamentales y no se ha reportado su reproducción *in vitro*. El cultivo de plantas en medio líquido genera diferencias en las respuestas al crecimiento y desarrollo, comparado con el medio semisólido. El desarrollo morfogénico, la tasa de crecimiento y la multiplicación de brotes, raíces y embriones somáticos mejora en medio líquido. El potencial que tienen las especies del género *Pinguicula* para ser utilizadas con fines ornamentales podría ponerlas bajo la condición de amenazadas debido a su restringida distribución y a la poca información que se tiene de estos organismos.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue evaluar las respuestas morfogénicas de *P. debbertiana* creciendo en tres medios y en condiciones de semisólido y líquido a partir de explantes foliares, evaluando peso fresco, concentración de clorofilas, carotenos, proteína, prolina y la actividad peroxidasa, particularmente las dos últimas como indicadores de estrés inducido por las condiciones de medio y ambiente de cultivo

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de plántulas obtenidas previamente *in vitro*, se colocaron hojas como explantes en matraces Erlenmeyer de 250 ml con 50 ml de cada uno de los siguientes medios: Medio (I) - Medio MS a la mitad de su concentración de sales minerales con 100 mg L⁻¹ de Mioinositol, 0.5 mg L⁻¹ de tiamina y

20 g L⁻¹ de sacarosa a pH 5.7; Medio (2) - Medio MS a la mitad de su concentración adicionado con 100 mg L⁻¹ de Mioinositol, 0.5 mg L⁻¹ de tiamina, 20 g L⁻¹ de sacarosa, 1.0 mg·L⁻¹ de BA + 1 mg·L⁻¹ de ANA y pH 5.7, y Medio (3) – Medio MS a la mitad de su concentración, adicionado con 100 mg L⁻¹ de Mioinositol, 0.5 mg L⁻¹ de tiamina, 20 g L⁻¹ de sacarosa, 1.0 mg·L⁻¹ de BA + 1 mg·L⁻¹ de Ácido indol-3-butírico (AIB) y pH 5.7. Los tres medios se prepararon con y sin agar, y se esterilizaron en autoclave a 121°C y 1.05 Kg cm⁻² por 15 min y se incubaron bajo 100 µmoles m⁻²seg⁻¹ y a 22-26°C en fotoperiodo de 16 horas luz/8 oscuridad durante 40 días. Los medios de cultivo líquidos se mantuvieron en agitación constante a 100 rpm, por 40 días. La concentración de clorofilas y carotenos se determinó de acuerdo con Harmutk (1987). La cuantificación de proteína se realizó de acuerdo con Bradford (1976). La actividad peroxidasa se midió siguiendo el método de Mendoza y Herrera (2012). La concentración de prolina se llevó a cabo según lo establecido por Bates *et al.* (1973). Los experimentos se realizaron bajo un diseño factorial completamente al azar con 5 repeticiones cada tratamiento. Los datos registrados se analizaron mediante el análisis estadístico descriptivo utilizando el programa informático SigmaPlot v.11.

RESULTADOS

El peso fresco de los tejidos (Figura 1) fue mayor para los medios líquidos, en comparación con el peso de los tejidos en medio semisólido (0.706 g el valor más alto, correspondiente al medio con AIB y BA), destacando el medio líquido adicionado con ANA y BA, siendo este cultivo en el que presentó la mayor cantidad de tejido (7.6 g en promedio).

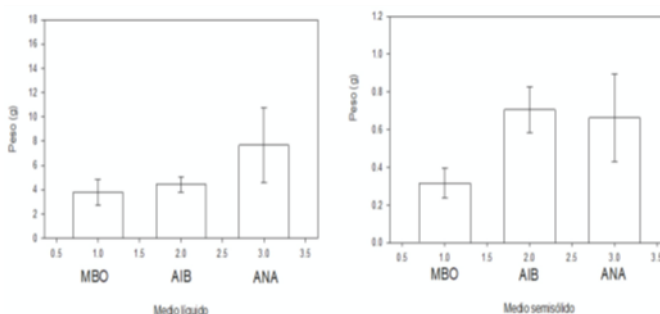


Figura 1. Promedios obtenidos para peso fresco en medio líquido (izquierda) y en medio semisólido (derecha). MBO; medio sin reguladores de crecimiento, AIB; medio adicionado con BA y AIB y, ANA; medio adicionado con BA y ANA.

Se aprecia una similitud entre los valores correspondientes a la concentración de proteínas de los tratamientos en medio líquido (Figura 2). El resultado que muestra la mayor concentración de proteínas (563 µg/g de TF) corresponde al medio semisólido con BA y AIB. La concentración de clorofilas *a* es mayor para los tratamientos desarrollados en medio semisólido, siendo el medio adicionado con AIB y BA el que posee la mayor concentración de este pigmento (14.6 µg/g de TF).

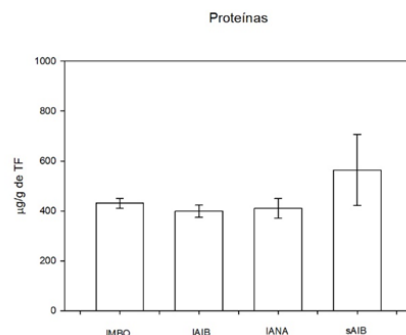


Figura 2. Promedios para las concentraciones de proteínas en (IMBO) medio líquido sin reguladores, (IAIB) medio líquido con BA y AIB, (IANA) medio líquido con BA y ANA y (sAIB) medio semisólido adicionado con BA y AIB.

Respecto a la actividad de peroxidasas y concentración de prolina (Figura 4), el medio con BA y AIB en semisólido presentó una menor actividad peroxidasa (0.13 DO/min/g de TF), así como la mayor concentración de prolina en el promedio de sus repeticiones (26.3 µg/g de TF).

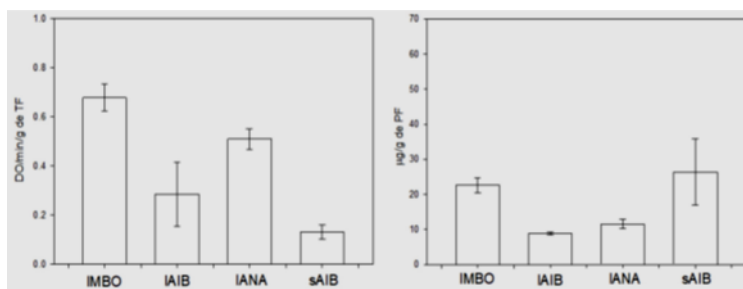


Figura 3. Comparación de la actividad de peroxidasas y concentración de prolina para los medios IMBO; medio líquido sin reguladores, IAIB; medio líquido con BA y AIB, IANA; medio líquido con BA y ANA y, sAIB; medio semisólido adicionado con BA y AIB.

La concentración de clorofilas *a* fue mayor para los tratamientos desarrollados en medio semisólido, siendo el medio adicionado con AIB y BA el que posee la mayor concentración de este pigmento (14.6 µg/g de TF). Esta misma situación ocurre para la concentración de clorofila *b* (4.35 µg/g de TF en BA y AIB semisólido) y la concentración de carotenos (3.92 µgramos/g de TF en BA y AIB semisólido) (Figura 4). La actividad sinérgica de BA y ANA favoreció el desarrollo de brotes y raíces en *Pinguicula* (Grevnstuk y Romano, 2012), y BA con AIB, fomentó el desarrollo de raíces. Sin embargo, un hallazgo importante en este trabajo es su respuesta en este medio con BA e IBA donde se generó una respuesta morfogénica no esperada, que fue la formación profusa de embriones somáticos (fig. 5). De forma asociada con lo encontrado en brotes y hojas de *Alstroemeria* en medio con Tidiazuron e IBA (Cruz *et al.*, 2003) o BAP e IBA (Pedraza-Santos *et al.*, 2006).

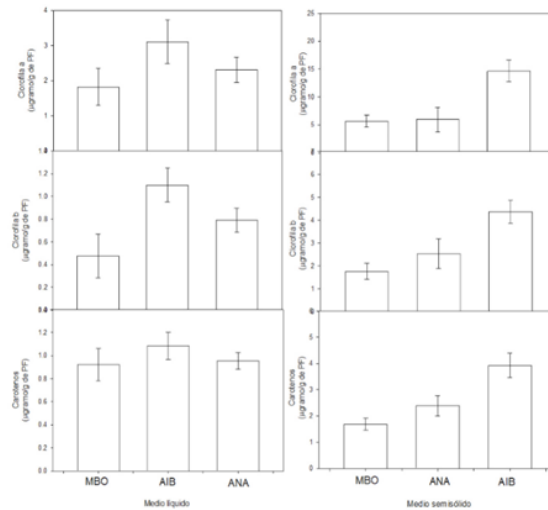


Figura 4. Comparación de las concentraciones obtenidas de clorofila *a*, clorofila *b* y carotenos para los tratamientos en medio líquido (izquierda) y medio semisólido (derecha).

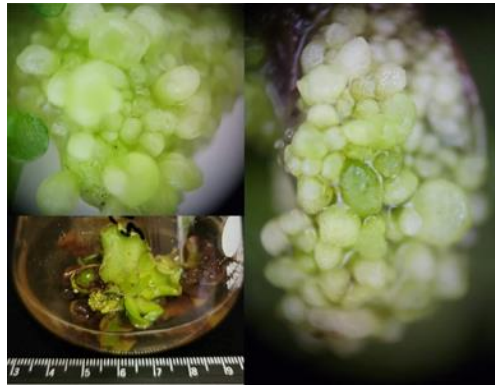


Figura 5. A) Embriones somáticos de *Pinguicula debbertiana* en medio semisólido con BA y AIB (200x), B) *P. debbertiana* creciendo en medio líquido con BA y AIB, C) embriones somáticos de medio líquido con BA y AIB.

CONCLUSIÓN

Los tratamientos en medio líquido mostraron mejor desarrollo en cuanto a peso en 40 días de cultivo en comparación con el medio semisólido. La morfogénesis observada en el medio con AIB y BA con una generación profusa de embriones somáticos es un hallazgo importante para la reproducción masiva de *Pinguicula debbertiana*.

LITERATURA CITADA

Ascough, G.D. and C.W. Fennell. 2004. The regulation of plant growth and development in liquid culture. South African Journal of Botany 70(2): 181–190.

-
- Cruz, I., A. Angarita, and T. Mosquera. 2003. Induction of somatic embryogenesis in *Alstroemeria* spp. *Agronomía Colombiana* 21(3):121-128.
- Murashige, T., and Skoog, F. (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with Tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15 (3) 473-497.
- Pedraza-Santos, M.E., M.C. López-Peralta, V.A. González-Hernández, E.M. Engleman-Clark, and P. Sánchez-García. 2006. In vitro regeneration of *Alstroemeria* cv. 'Yellow king' by direct organogenesis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 84:189-198.
- Pérez-Sánchez, J., Reyero-Saavedra, R., Pozos-Ruiz, Y., Verastegui-Vidal, M., y Ortiz-Montiel, J. G. (2017). In vitro propagation of *Pinguicula moranensis* H.B.K., var. Neovolcanica Z. *Revista Bio Ciencias*, 4(3), 179–188. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.15741/revbio.04.03.04>
- González-Serratos, A. (2019) Reproducción masiva de *Pinguicula acuminata* Benth mediante cultivo *in vitro* en medio líquido [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2019/junio/0790002/Index.html>
- Zamudio, S. (1995) Las plantas mexicanas del género *Pinguicula*, un grupo de interés hortícola. *Revista Chapingo*, 3: 63-65.

EFECTO DE LA POSICIÓN DEL FRUTO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y FISIOLÓGICAS DE LAS SEMILLAS DE *ECHINOCACTUS PLATYACANTHUS*

Carlos Alberto Zúñiga Rizo^{1*}, Cecilia B. Peña Valdivia², Liberato Portillo Martínez³, Carlos Trejo Lopez², Humberto Vaquera Huerta⁴ y Daniel Padilla Chacon⁵

¹InVitroLab. Zapopan, Jalisco, México.

²Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Texcoco de Mora, Estado de México, México.

³Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Zapopan, Jalisco, México.

⁴Posgrado en Socioeconómica, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Texcoco de Mora, Estado de México, México.

⁵Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas. Xalapa, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia: isek_up3@hotmail.com

PALABRAS CLAVE: biomasa, viabilidad, latencia.

INTRODUCCIÓN

Echinocactus platyacanthus comúnmente se conocen como biznaga dulce, biznaga de barril, biznaga gigante por el tamaño que alcanzan, o asiento de suegra. Es una especie endémica de México que se distribuye principalmente en los estados de Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas (Castañeda-Romero *et al.*, 2016). Con los tallos de esta especie se prepara la confitura comúnmente llamada acitrón o dulce de biznaga, el cual se vende en los mercados principalmente del altiplano mexicano, de igual forma, las plantas de esta especie pueden ser forraje para los animales en tiempos de sequía. Lo que, ha causado destrucción de miles de las poblaciones hasta el nivel en el que la especie está calificada en peligro de extinción (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

Conocer la viabilidad y el vigor de los embriones permite una aproximación a su potencial o capacidad de germinación y emergencia y sobrevivencia de la plántula, lo que asegura la selección de métodos adecuados que incrementen la sobrevivencia y disponibilidad de las semillas para la siembra a corto, mediano y largo plazo (Villavicencio-Gutiérrez *et al.*, 2019).

Se ha documentado la asincronía en la floración y desarrollo de los frutos en esta especie; ya que, en la etapa reproductiva una misma planta muestra simultáneamente botones, flores y frutos durante varios meses. Por lo que, los flujos de floración se modifican por factores abióticos y bióticos que repercuten en el desarrollo de flores, frutos y semillas (Trujillo-Argueta y del Castillo, 2013). Estas asincronías y los periodos reproductivos de varios meses permiten vislumbrar amplia variabilidad en las características físicas y fisiológicas de las semillas.

OBJETIVO

El objetivo fue determinar el efecto de la posición del fruto en las características físicas y fisiológicas de las semillas de *E. platyacanthus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas se pesaron individualmente en una balanza analítica. Mientras que las dimensiones (anchura, la longitud y el área) se obtuvieron con el software ImageJ.

La viabilidad y el vigor de los embriones se evaluó con la prueba con tetrazolio descrita por Monroy-Vázquez *et al.* (2017). La clasificación de los embriones fue: 1) vivos con vigor alto, 2) vivos con vigores bajos y 3) no viables. La viabilidad y el vigor correspondieron al porcentaje de embriones vivos del total de cada tipo de fruto.

Para la germinación de las semillas de ambos tipos de frutos, las semillas intactas se colocaron en cajas Petri sobre papel filtro, se humedecieron con agua destilada y se mantuvieron en cámaras con ambiente controlado, a 25° C y en obscuridad constante. El porcentaje total de germinación se registró a los 45 días después de la siembra.

Diseño experimental: en todas las evaluaciones se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con número diferente de repeticiones. Para características físicas de las semillas se utilizaron 10 repeticiones integradas con 100 semillas cada una dando por resultado un total de 1000 semillas (unidades experimentales) de cada tipo de semilla. En la evaluación de la viabilidad y el vigor de los embriones se incluyeron cinco repeticiones con cinco semillas cada una con un total de 25 semillas o unidades experimentales de cada tipo de fruto. Para la germinación de las semillas se utilizaron tres repeticiones con diez semillas cada una con un total de 30 semillas (unidades experimentales) por fruto.

Análisis estadístico de los datos: la biomasa, anchura, longitud y área de cada tipo de fruto se analizaron con la prueba *t*-Student. La viabilidad y vigor de las semillas se analizó mediante una tabla de contingencia. Las curvas de germinación final de las semillas se obtuvieron con el software SigmaPlot 11.0 (versión libre: <https://sigmaplot.software.informer.com/11.0/>). El ajuste de las curvas de germinación se realizó con el modelo matemático descrito por González-Zertuche y Orozco-Segovia (1996). Cuando los supuestos del modelo no se cumplieron se realizó la transformación mediante arco seno.

RESULTADOS

El tamaño de las semillas de *E. platyacanthus* difirió entre los frutos del ápice y la base de la corona de las plantas. En los frutos de la periferia, las semillas fueron más anchas y con más área ($p \leq 0.05$) respecto a las de los frutos apicales; en contraste las de los frutos apicales tuvieron longitud mayor ($p \leq 0.05$). Además, las semillas de los frutos de la periferia fueron 17 % más pesadas ($p \leq 0.05$) que las de los frutos en el ápice (Cuadro 1).

El porcentaje de la viabilidad de los embriones en las semillas no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) ya que fue similar entre las semillas de los frutos del ápice y de la periferia. De igual manera,

la similitud ($p > 0.05$) también se observó en el porcentaje de embriones con vigor alto y bajo, así como en los embriones no viables (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físicas y fisiológicas de las semillas apicales y periféricas de *Echinocactus platyacanthus*.

Características	Semillas apicales	Semillas periféricas
Físicas		
Biomasa (mg)	2.2 b	2.4 a
Anchura (mm)	1.6 b	1.7 a
Longitud (mm)	2.3 a	2.2 b
Area (mm2)	2.9 b	3.0 a
Fisiologicas		
Viabilidad (%)	96.0 a	96.0 a
Vigor alto (%)	80.0 a	80.0 a
Vigor bajo (%)	16.0 a	16.0 a
Valores con la misma letra son estadísticamente similares (Tukey, 0.05).		

En las semillas de los frutos del ápice la germinación total no presento diferencias ($p > 0.05$) entre ambos tipos de frutos ya que registraron el mismo porcentaje de germinación total (20 %) (Figura 1).

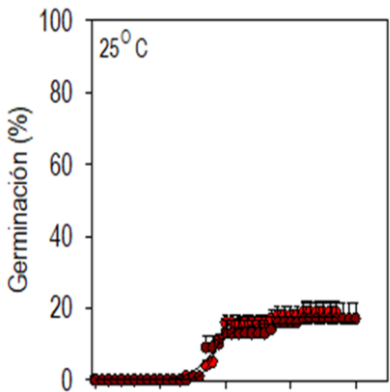


Figura 1. Germinación acumulada de *Echinocactus platyacanthus* (+ E.E) a 25° C y oscuridad constante (en círculos rojo claro y rojo oscuro corresponden a semillas de los frutos del ápice o de la periferia de la corona de las plantas, respectivamente).

CONCLUSIÓN

En promedio las semillas de los frutos del ápice de *E. platyacanthus* son más largas y tienen menos biomasa respecto a las de los frutos de la periferia, sin embargo, ambos grupos de semillas presentan el mismo vigor y viabilidad y la latencia seminal en esta especie es mayor a 80 % (similar en las semillas de ambos grupos de frutos), ya que la germinación total fue de 20 %.

Las semillas de las plantas de *E. platyacanthus* presentan diferencias en cuanto a peso y tamaño en dependencia de su posición en la corona de estas, mientras que las características fisiológicas, como la viabilidad, vigor y germinación final, son similares en todos los frutos de esta especie.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Los autores agradecen al Dr. Rogelio Aguirre Rivera, del Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, UASLP, México., por la donación de los frutos. Igualmente agradecemos el apoyo financiero del Programa de Becas Nacionales del SECIHTI.

LITERATURA CITADA

- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, H. (1991). Las cactáceas de México. Volumen II. Universidad Autónoma de México. México. 791 pp.
- Castañeda-Romero, M., Luna-Contreras, M., Vela-Godínez, D., Montoya-Santiago, G., González-Bermúdez, A., Martínez-Peña, R. y Esperón-Rodríguez, M. (2016). Nota sobre la estructura poblacional de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) en la reserva de la biosfera "Barranca de Metztitlán", Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana* 115: 65-73.
- González-Zertuche, L. y Orozco-Segovia, A. (1996). Métodos de Análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad de Botánica de México*, 58: 15-30.
- Monroy-Vázquez, M.E., Peña-Valdivia, C.B., García, N.R., Solano, E., Campos, H. y García-Villanueva, E. (2017). Imbibición, viabilidad y vigor de semillas de cuatro especies de *Opuntia* con grado distinto de domesticación. *Agrociencia* 51(5): 27-42.
- Trujillo-Argueta, S. y del Castillo, R. (2013). 7. Fenología reproductiva de *Echinocactus platyacanthus* una biznaga común de las zonas semiáridas de México. En: Briones-Salas, M., Manzanero-Medina G., y González-Pérez, G. (Eds.). *Estudios en Zonas Áridas de Oaxaca: Homenaje al Dr. Alejandro Flores Martínez*. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional, México. 74-86 pp.
- Villavicencio-Gutiérrez, E., Quintana-Camargo, M., Pichardo-González J., y Cruz-Gutiérrez, E. (2019). Calidad de semilla declarada de dos cactáceas ornamentales y su conservación a largo plazo en el CNRG-INIFAP. En: *Avances Internacionales de Cactáceas y Suculentas, Manejo y Conservación ante el cambio climático*, 140-146 pp.

EFFECTO DE LA LUZ EN LA GERMINACIÓN DE TRES VARIANTES SILVESTRES Y TRES DOMESTICADAS DEL GÉNERO *OPUNTIA*

Carlos Alberto Zúñiga Rizo^{1*}, Cecilia B. Peña Valdivia², Liberato Portillo Martínez³, Carlos Trejo Lopez², Humberto Vaquera Huerta⁴ y Daniel Padilla Chacon⁵

¹InVitroLab. Zapopan, Jalisco, México.

²Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Texcoco de Mora, Estado de México, México.

³Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Zapopan, Jalisco, México.

⁴Posgrado en Socioeconómica, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Texcoco de Mora, Estado de México, México.

⁵Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas. Xalapa, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia: isek_up3@hotmail.com

PALABRAS CLAVE: fotoblastismo, *O. streptacantha*, *O. albicarpa*

INTRODUCCIÓN

La germinación de las semillas depende tanto de factores intrínsecos, como la latencia y la edad seminal, y ambientales, como agua, oxígeno, temperatura, así como de la interacción de ambos factores. Los mecanismos desarrollados para detectar señales ambientales que ajustan la germinación a momentos y lugares específicos incrementan la probabilidad de establecimiento de las plántulas (Khurana y Singh, 2001). Entre las numerosas señales ambientales, la luz es una de las más cruciales, ya que afecta a la mayoría de las etapas del ciclo vital de las plantas. La respuesta de la semilla a la luz se denomina fotoblastismo; la cual puede ser positiva, negativa o neutra (Miransari y Smith, 2014).

El género *Opuntia* es el más grande de la familia Cactaceae, incluye 215 especies en América y en México se han localizado 83 especies, lo que representa la mayor riqueza en el continente americano. Así, las plantas del género *Opuntia* destacan por su tolerancia a los ambientes extremos, por la alta plasticidad para enfrentar el cambio climático, contrarrestar la erosión del suelo, por su valor alimenticio y usos de los cladodios y frutos en la herbolaria; además, en México y Perú, las plantas se utilizan para la producción de grana de cochinilla, ya que son hospederas del hemíptero *Dactylopius coccus* del que se obtiene el colorante color carmín y en zonas áridas y semiáridas se utilizan como cerco vivo y para evitar la desertificación (Meraz-Maldonado *et al.*, 2012). Un gradiente de domesticación se describió con base en caracteres morfológicos de la planta, como cladodios y frutos de 243 variantes, de 21 especies de *Opuntia* del altiplano mexicano; en uno de los extremos del gradiente se ubican la especie silvestre, e.g., *O. streptacantha* y en el opuesto está *O. albicarpa* (Reyes-Agüero *et al.*, 2005). La respuesta a la luz se ha determinado en algunas especies de *Opuntia*, sin embargo, aún se desconoce si la respuesta está relacionada con el nivel de domesticación (Padrón-Pereira, 2012).

OBJETIVO

Evaluar el efecto del fotoperiodo en la germinación a 30° C de tres variantes silvestre y tres variantes domesticadas de *Opuntia*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas utilizadas de las variantes silvestre de la especie *O. streptacantha* fueron Cardona, Cardona de Castilla y Tuna Loca. Mientras que las variantes de la especie *O. albicarpa* fueron Copena ZI, Naranjón Legítimo y Villanueva fueron donados por el Depositario Nacional de *Opuntia*, del Centro Regional Universitario Centro Norte de la Universidad Autónoma Chapingo (CRUCEN-UACH), Zacatecas, México.

Métodos: las semillas sin escarificar se colocaron en cajas Petri sobre papel filtro, se humedecieron con agua destilada y se mantuvieron en cámaras con ambiente controlado, a 30° C constantes y humedad relativa elevada, y en tres fotoperiodos (0: 24, 8: 16 o 16: 8 h luz: h oscuridad). Las evaluaciones se realizaron diariamente durante 45 días. La semilla se consideró germinada cuando la raíz emergida tenía al menos 0.5 mm de longitud (ISTA, 2010) y se registró el porcentaje de germinación acumulada.

Diseño experimental: el diseño experimental fue un completamente al azar, se usaron seis variantes (tres de *O. streptacantha* y tres de *O. albicarpa*) y tres fotoperiodos (0: 24, 8: 16 o 16: 8 luz: oscuridad) dando por resultado 18 tratamientos. Los tratamientos se constituyeron de tres unidades experimentales, con 10 semillas cada una.

Análisis estadístico de los datos: la germinación máxima y se analizó mediante un análisis de varianza de una vía y cuando se registraron diferencias significativas se realizó la comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Las curvas de germinación acumulada de las semillas de cada tratamiento se obtuvieron con el software SigmaPlot 11.0 (versión libre: <https://sigmaplot.software.informer.com/11.0/>). El ajuste de las curvas de germinación se realizó con el modelo matemático descrito por González-Zertuche y Orozco-Segovia (1996). Cuando los supuestos del modelo no se cumplieron se realizó la transformación mediante arco seno.

RESULTADOS

La variante Cardona de la especie silvestre de *O. streptacantha* modificó significativamente ($p \leq 0.05$) su germinación total acumulada de 10 % con el fotoperiodo de 8 h con luz y oscuridad constante en comparación con 16 h de luz total, donde no hubo germinación (Cuadro 1). La variante Cardona de Castilla incrementó significativamente ($p \leq 0.05$) la germinación final con el fotoperiodo de 8 con luz a 52 %, en comparación con la germinación en ausencia de luz con 18 % (Cuadro 1). La variante Tuna Loca incrementó significativamente ($p \leq 0.05$) la germinación, en 10 y 45 %, con los fotoperiodos que incluyeron 8 y 16 h con luz, respectivamente, comparados con la germinación en oscuridad completa, en donde no hubo germinación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de germinación acumulada de las variantes silvestres de la especie *Opuntia streptacantha*, con 30° C y diferentes fotoperiodos.

Variante	0:24 h luz: oscuridad	8:16 h luz: oscuridad	16: 8 h luz: oscuridad
Cardona	10 a	10 a	0 b
Cardona de Castilla	18 c	52 a	40 b
Tuna Loca	0 c	10 b	45 a

Valores con la misma letra son estadísticamente similares (Tukey, 0.05).

Las variantes COPENA Z1 de la especie domesticada *O. albicarpa* incrementó ($p > 0.05$) la germinación final de 3.33 %, con los fotoperiodos sin luz y con 8 h de luz, a 10 % con 16 h de luz. (Figura 1A). La germinación acumulada de la variante Naranjón Legítimo mostró un incremento significativo ($p \leq 0.05$) de 3.33 %, con el fotoperiodo sin luz y con 16 h luz, a 43.33 % con 8 h de luz (Figura 1B). La germinación final de la variante Villa Nueva aumentó significativamente ($p \leq 0.05$) de 10 %, con el fotoperiodo sin luz, a 33.33 % con 16 h de luz (Figura 1C).

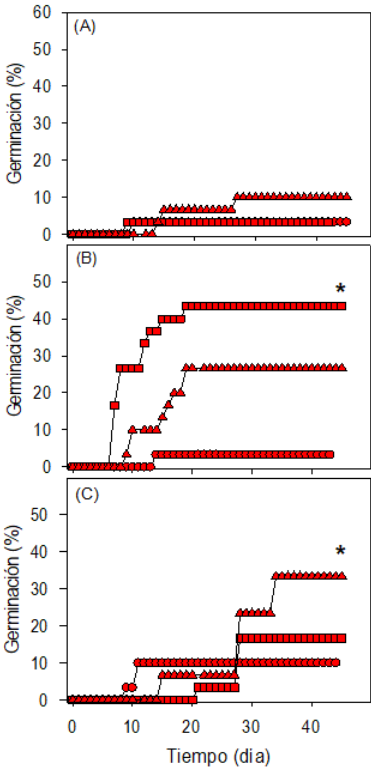


Figura 1. Curvas de germinación acumulada de las variantes domesticadas de la especie *Opuntia albicarpa*, con 30° C (+ E.E) y fotoperiodo de 0:24 h luz: oscuridad (círculos), 8:16 h (luz: oscuridad) (cuadros) o 16: 8 h (luz: oscuridad) (triángulos), de semillas de las variantes COPENA Z1 (A), Naranjón Legítimo (B) y Villa Nueva (C). El asterisco indica diferencia significativa ($\alpha = 0.05$) de la germinación máxima entre los tratamientos de cada variante.

CONCLUSIÓN

Las variantes silvestres de *O. streptacantha* y las variantes domesticadas de *O. albicarpa* muestran cierto nivel de fotoblastismo positivo. Sin embargo, en ningún caso el porcentaje de germinación máxima acumulada se encuentra cercano al 52 %. Por lo que, la geminación máxima acumulada de las variantes silvestres y domesticadas en estudio con oscuridad y con fotoperiodo corto o largo, no mostró alguna tendencia relacionada con el gradiente de domesticación.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Los autores agradecen al Depositario Nacional de *Opuntia*, del Centro Regional Universitario Centro Norte de la Universidad Autónoma Chapingo (CRUCEN-UACH), Zacatecas, por la donación de las semillas. Igualmente agradecemos el apoyo financiero del Programa de Becas Nacionales del SECIHTI.

LITERATURA CITADA

- González-Zertuche, L. y Orozco-Segovia, A. (1996). Métodos de Análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. Boletín de la Sociedad de Botánica de México, 58: 15-30.
- Khurana, E. & Singh, J.S. (2001). Ecology of tree seed and seedlings: implications for tropical forest conservation and restoration, Current Science, 80: 748-57.
- Meraz-Maldonado, N., Valle-Guadarrama, S., Hernández-Morales, J., Anaya-Rosales, S., Rodríguez-Maciel, J.C. & Leyva-Ruelas, G. (2012). Quality of three sizes of prickly pear cactus stems (*Opuntia ficus indica* L. "ATLIXCO"). African Journal of Agricultural Research, 7(32): 4512-4520.
- Miransari, M. & Smith, D.L. (2014). Plant hormones and seed germination. Environmental and Experimental Botany, 99: 110-121.
- Padrón-Pereira, C.A. (2012). Innovaciones en el agrodesarrollo de las cactáceas. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 3(1): 38-79.
- Reyes-Agüero, J.A., Aguirre-Rivera, J.R. & Hernández, H.M. (2005). Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). Agrociencia, 39: 395-408.

EFFECTO DEL FOTOPERIODO SOBRE EL CRECIMIENTO Y METABOLISMO *IN VITRO* DE *PLUMBAGO PULCHELLA* EN MEDIO LÍQUIDO

Cesar Antonio Colunga Silva¹, Ximena Valeria Martínez Sánchez¹, Yolanda Pozos Ruiz¹, Miguel Verástegui Vidal¹, Sergio Camacho Montiel¹, Gerardo Ortiz Montiel^{1*}

¹Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, Unidad de Morfología y Función, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Los Barrios # 1, Col. Los Reyes Iztacala, C.P. 54090, Tlalnepantla, Estado de México.

*Autor de correspondencia: jgerardo@unam.mx

PALABRAS CLAVE: Plumbagina, *in vitro*, fotoperiodo, medio líquido.

INTRODUCCIÓN

En algunas plantas, hongos, bacterias e incluso en algunos animales se presentan naftoquinonas que son compuestos químicos naturales con estructura característica de dos grupos carbonilo en posiciones 1,4 del anillo naftalénico, a las cuales se les atribuyen importantes propiedades biológicas (Bruneton, 2001). Entre estas naftoquinonas, destaca la plumbagina (2-metil-5-hidroxil-1,4-naftoquinona), un compuesto presente en hojas, raíces y corteza de diversas especies pertenecientes principalmente a las familias Plumbaginaceae, Droseraceae y Ebenaceae (López et al., 2011). En México, la especie *Plumbago pulchella*, conocida como chiricua, curicua, hierba lumbre, jiricua, jiricua morada, pañete o hierba de alacrán, es una especie de zonas semiáridas, que posee valor ornamental y tiene efectos antimicrobianos, neuroprotectores, antitumorales, insecticidas y antimicóticos. Presenta una amplia distribución en el Bajío, en estados como Hidalgo, Querétaro, Michoacán y Guanajuato, en altitudes que oscilan entre 900 y 2000 metros sobre el nivel del mar (Calderón de Rzedowski, 1996). Sin embargo, las poblaciones silvestres de *Plumbago pulchella* han disminuido debido al crecimiento urbano y a las dificultades inherentes a su propagación natural, lo que limita la disponibilidad de material vegetal para el aprovechamiento medicinal y la investigación biomédica. De acuerdo con esto, las técnicas de cultivo de tejidos vegetales o micropropagación se plantean como una alternativa para la propagación de esta especie. Esta técnica sería una opción viable para satisfacer las necesidades de la industria farmacéutica y la investigación biomédica sin comprometer las poblaciones silvestres. Estas técnicas han sido aplicadas en medios semisólidos en especies como *P. zeylanica*, *P. rosea*, *P. europaea* y *P. auriculata* (Kumar et al., 2023). Sin embargo, diversos estudios sugieren que el cultivo en medio líquido favorece el crecimiento y desarrollo vegetal, así como la producción de biomasa, brotes, raíces y embriones somáticos, debido a una mayor disponibilidad de agua y nutrientes y una reducción de la resistencia a la difusión (Ascough y Fennell, 2004).

OBJETIVO

De acuerdo con lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de fotoperiodo sobre el crecimiento y la fisiología de *Plumbago pulchella* cultivada *in vitro* en medio líquido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se multiplicaron brotes de *P. pulchella* a partir de plántulas obtenidas de Huapalcalco, Tulancingo, Hidalgo, cultivadas en medio Murashige y Skoog, 1962 (MS) adicionado con inositol (100 mg/L), tiamina (0.4 mg/L), sacarosa (30 g/L) y agar (5 g/L), pH 5.7, bajo condiciones estériles a 22-26°C y fotoperiodo de 16 horas de luz por 30 días.

De las plántulas obtenidas se obtuvieron explantes de tallo con un nudo que se sembraron en matraces Erlenmeyer con 50 ml de medio líquido MS (sin agar) con tres fotoperiodos. 16 h luz / 8 h oscuridad; 12 h luz / 12 h oscuridad y 8 h luz / 16 h oscuridad. Los cultivos se mantuvieron 40 días bajo agitación (100 rpm) y se evaluaron las siguientes variables morfológicas y fisiológicas: Clorofilas y carotenoides: Se extrajeron con acetona al 80% y se cuantificaron espectrofotométricamente siguiendo a Wellburn (1994). Fluorescencia de clorofila a: Se realizó mediante el análisis OJIP con un Fluorómetro (FluorPen FP100). Plumbagina: Se extrajo en tejido seco con metanol y cloroformo, y se cuantificó espectrofotométricamente de acuerdo con Shalini et al. (2010). Proteínas solubles: Se determinaron mediante el método de Bradford (1976). Actividad peroxidasa: Se midió mediante la oxidación de guayacol (Mendoza y Herrera, 2012). Prolina libre: Se cuantificó mediante el método de Bates et al. (1973). Se utilizó un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones por tratamiento. Los datos se analizaron mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando SigmaPlot v.11.

RESULTADOS

La micropropagación en medio semisólido fue exitosa, permitiendo obtener suficiente material vegetal para los experimentos (Figura 1). En medio líquido, tras 40 días de cultivo, no se observaron diferencias significativas en número de brotes o altura entre los distintos fotoperiodos, aunque el fotoperiodo de 16 h mostró plantas ligeramente más bajas, sugiriendo una posible respuesta de elongación bajo menor luz, aunque no significativa (Figura 2). El fotoperiodo de 16 h presentó consistentemente menor biomasa en vástagos y raíces. El menor tamaño y peso fresco total en estas condiciones puede atribuirse a un estrés lumínico, donde la planta prioriza la estabilidad fotosintética sobre el crecimiento estructural.

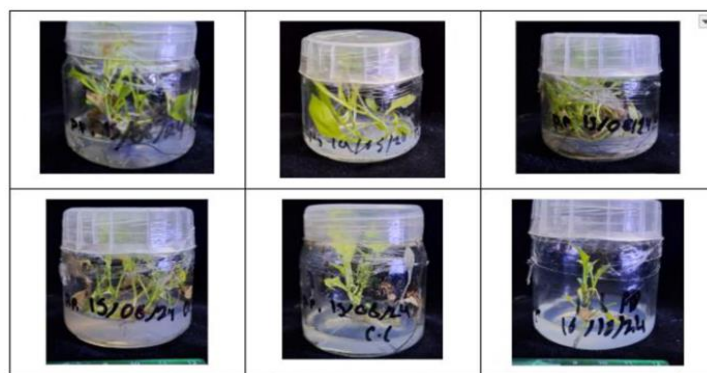


Figura 1. Reproducción de *Plumbago pulchella* en medio semisólido.

Figura 1. Reproducción de *Plumbago* en medios semisólido.



Figura 2. Crecimiento in vitro de *Plumbago pulchella* en medio líquido después de 40 días a diferentes fotoperiodos; 8, 12 y 16 horas de luz diaria respectivamente.

Figura 2. Crecimiento in vitro de *Plumbago pulchella* en medio líquido después de 40 días a diferentes fotoperiodos; 8, 12 y 16 horas de luz, respectivamente.

La curva OJIP mostró mayor eficiencia fotosintética en el fotoperiodo de 16 h, evidenciado por la reducción en la fluorescencia máxima (F_m), lo que indica una mayor actividad fotosintética (Figura 3). Asimismo, este tratamiento presentó mayores concentraciones de clorofila a, b y carotenoides, lo cual es consistente con la mayor exposición lumínica y la consecuente necesidad de captar y procesar energía solar.

Los niveles de prolina y actividad peroxidasa fueron mayores en los fotoperiodos de 12 y 16 h, indicando un estrés moderado y un aumento en las defensas antioxidantes. La mayor concentración de proteínas en el fotoperiodo de 16 h refleja un esfuerzo de la planta por mantener la integridad del aparato fotosintético bajo condiciones estresantes.

Se observó una mayor concentración de plumbagina en vástagos y raíces bajo el fotoperiodo de 16 h, particularmente en el vástago (96.15 mg/g). Este hallazgo coincide con estudios previos en *P. zeylanica*, donde fotoperiodos largos incrementan la síntesis de este metabolito bioactivo.

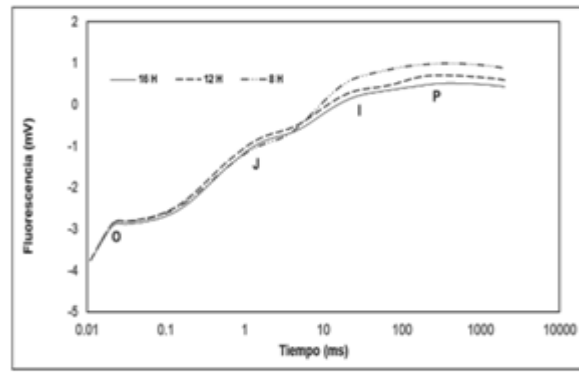


Figura 3 Curvas de fluorescencia transitoria OJIP obtenidas bajo tres fotoperiodos distintos (16, 12 y 8 horas de luz).

Figura 3. Curvas de fluorescencia transitoria (OJIP) obtenida bajo tres fotoperiodos distintos (16, 12 y 8 horas de luz).

CONCLUSIÓN

El fotoperiodo influyó significativamente en la fisiología y metabolismo de *P. pulchella* en cultivo *in vitro* en medio líquido. El fotoperiodo de 16 h favorece la fotosíntesis y la producción de plumbagina, aunque limita el crecimiento y la biomasa debido al estrés lumínico. En contraste, el fotoperiodo de 12 h promueve mayor biomasa y un balance fisiológico más favorable, posicionándolo como el más adecuado para la propagación de la especie. Además, el cultivo en medio líquido favorece el desarrollo radicular, facilitando la posterior transferencia a suelo.

LITERATURA CITADA

- Ascough, G.D. y Fennell, C.W. (2004). The regulation of plant growth and development in liquid culture. *South African Journal of Botany* 70(2): 181–190.
- Calderón, D.R. (1996). Familia Plumbaginaceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 44. Instituto de Ecología A.C.
- Harmutk L. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzimology*, 148, 350–382.
- Kumar, P. D., Katoch, K., Das, T., Majumder, M., Dhama, K., Bhagwan, M. A., Valsala, G. A. y Dey, A. (2023). Approaches for *in vitro* propagation and production of plumbagin in *Plumbago spp.* *Applied Microbiology and Biotechnology*. 107:4119–4132.
- Murashige, T. y Skoog, F. (1962). A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*. 15 (3): 473–497.

TILLANDSIA RECURVATA COMO PARÁSITA ESTRUCTURAL, EFECTO SOBRE LA REDISTRIBUCIÓN HIDRÁULICA EN BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO

Beatriz Aldir Merino^{1*}, Ulises Rodríguez Robles², Jesús Juan Rosales Adame², Martha Susana Zuloaga Aguilar², Shatya Devi Quintero Gradilla²

¹Programa de Maestría en Ciencias del Manejo de los Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Av. Independencia Nacional #151, Autlán, Jalisco.

²Profesor del Centro Universitario de la Costa Sur, Av. Independencia Nacional #151, Autlán, Jalisco

*Autor de correspondencia: beatriz.aldir0602@alumnos.udg.mx

RESUMEN

Tillandsia recurvata, epífita considerada parásita estructural, tiene impacto mecánico y sobre la eficiencia fotosintética del forofito, así como un alto potencial colonizador lo que ha sido documentado en últimos años. Su efecto en la redistribución hidráulica del hospedero, evidenciado como colapso o invaginación de los vasos conductores y un posible secuestro de agua en períodos de sequía, ha sido tema de trabajos recientes. Conocer en qué condiciones climáticas presenta dicho comportamiento y qué especies son más sensibles constituye un punto esencial para su manejo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto de *T. recurvata* sobre la redistribución hidráulica en especies de Bosque Tropical Caducifolio, mediante el estudio evolutivo durante un año y rastreo de marcadores isotópicos en época de seca y lluvia. En una parcela de vegetación secundaria, se seleccionaron ocho árboles por de tres especies (*Vachellia sp.*, *Bursera sp.* y *Sarcomphalus mexicanus*) con y sin *T. recurvata*, de los cuales se tomaron muestras mensuales de ramillas y corona de la epífita para estudiar la evolución del sistema y toma de agua de sus componentes durante un año. El análisis de isótopos mostró diferencias entre las especies que sugiere la toma de agua de diferentes fuentes. En el amole, la epífita mostró valores muy diferentes a las otras especies ($p < 0.05$) posiblemente, por un fenómeno de ciclaje hídrico. De forma general, para las tres especies se observaron diferencias en los árboles con presencia y ausencia de *T. recurvata* lo cual demuestra un impacto de esta sobre el desarrollo hídrico de sus forofitos.

FOTOSÍNTESIS EN FENOFASES TEMPRANAS DE *TILLANDSIA CAPUT-MEDUSAE*

Julissa Trujillo-Rios^{1*}, Marisol Castro-Moreno²

¹Programa de Licenciatura en Biología, Instituto de Ciencias Biológicas. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. #1150, Libramiento Norte Poniente, Col. Lajas Maciel. C.P. 29039, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

²Laboratorio de Fisiología y Química Vegetal, Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. #1150, Libramiento Norte Poniente, Col. Lajas Maciel. C.P. 29039, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

*Autor de correspondencia: julissa.trujillor@e.unicach.mx

RESUMEN

El género *Tillandsia* (*Bromeliaceae*) representa un modelo Clave para estudiar adaptaciones fisiológicas a ambientales contrastantes de las selvas secas, debido a su amplia distribución y plasticidad fotosintética. En particular, *Tillandsia caput-medusae* es una especie epífita adaptable a condiciones semiáridas, con la capacidad de presentar metabolismo CAM, en sus distintas fenofases. Comprender su plasticidad metabólica en bromelias es relevante tanto por su valor ecológico y sus implicaciones frente al cambio climático. El objetivo de esta investigación fue describir los cambios en el metabolismo fotosintético de *T. caput-medusae* durante sus fenofases tempranas y adultas, documentando sus características morfológicas y cuantificando el contenido de clorofilas y ácidos orgánicos. Se recolectaron 38 ejemplares (10 plántulas, 14 juveniles y 14 adultas); las cuales 7, 7 y 5 respectivamente fueron colectados a las 08:00 am h, y otros 7, 7 y 5 a las 12:00 pm h. Se registraron parámetros fenológicos y morfológicos, se cuantificaron ácidos orgánicos mediante titulación y se midieron pigmentos fotosintéticos con espectrofotometría. Los resultados mostraron diferencias significativas en el consumo de acidez entre adultos y plántulas, siendo mayor y más constante en los individuos adultos, los juveniles presentaron una variabilidad intermedia y, aunque con menor consumo las plántulas también evidenciaron metabolismo ácido desde esa etapa. Los niveles de ácidos orgánicos sugieren actividad CAM. *T. caput-medusae* desde etapas tempranas muestra una transición metabólica ligada a su desarrollo ontogénico, lo que evidencia su plasticidad fisiológica. Estos hallazgos son relevantes para la conservación de bromelias en contextos de estrés hídrico y cambio climático.

REGULADORES DE CRECIMIENTO Y SU INFLUENCIA EN FRUTOS DE TUNA CON Y SIN POLINIZACIÓN

Berenice Karina Flores Hernández^{1*}, Ma. De Lourdes C. Arévalo Galarza¹, Manuel Livera Muñoz²,
Aída Martínez Hernández³, Cecilia Peña Valdivia⁴, Zavala Calderón Guillermo¹, Guadalupe
Valdovinos Ponce⁵

¹Colegio de Postgraduados-Postgrado en recursos genéticos y productividad-Fruticultura, Campus Montecillo, Texcoco.

²Colegio de Postgraduados-Postgrado en recursos genéticos y productividad-Genética, Campus Montecillo, Texcoco.

³Colegio de Postgraduados- Postgrado en bioprospección y sustentabilidad agrícola en el trópico, Campus Campeche.

⁴Colegio de Postgraduados-Postgrado en Botánica, Campus Montecillo.

⁵Colegio de Postgraduados-Postgrado en Fitosanidad, Campus Montecillo, Texcoco.

*Autor de correspondencia: flores.berenicekarina@colpos.mx

RESUMEN

Opuntia ficus-indica (tuna) es una especie destacada por su capacidad de adaptación a condiciones de estrés hídrico y su potencial agroindustrial. La producción de frutos partenocárpicos ha despertado interés por su mejor calidad y vida de anaquel; sin embargo, se desconocen a detalle las diferencias anatómicas y hormonales respecto a los frutos polinizados. El objetivo de esta investigación fue comparar las características anatómicas, fisiológicas y hormonales entre frutos partenocárpicos inducidos y frutos obtenidos por polinización. Se recolectaron frutos de las variedades CP30 y CP40 (polinizados y partenocárpicos) en madurez hortícola en Tepetlaoxtoc, Estado de México se seleccionaron por ausencia de daños y enfermedades y se almacenaron a 21 ± 1 °C y 61 ± 2 % HR. Se realizaron cortes anatómicos del pericarpelo y se cuantificaron reguladores de crecimiento (GA₃, ABA, AIA, IBA) en pulpa y pericarpelo, también se determinó la vida de anaquel. Los frutos partenocárpicos mostraron una vida de anaquel mayor (33 ± 2 y 31 ± 2 días) frente a los polinizados (14 ± 2 y 15 ± 2 días). Esto se relacionó con altos niveles de GA₃ y AIA, que favorecen el mantenimiento de la pared celular, mientras que el ABA se asoció a senescencia en frutos polinizados ya que este se encontró en mayor cantidad. Anatómicamente, los frutos partenocárpicos presentaron mayor grosor de cutícula, células más grandes del parénquima y con arreglo vertical, una capa de esclereidas y un estrato de tres capas de células de hipodermis. La partenocarpia mejora la conservación postcosecha de la tuna, gracias a modificaciones hormonales y estructurales que prolongan su vida de anaquel.

FISIOLOGÍA DE FORRAJES Y CULTIVOS

EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE PROPAGACIÓN AGÁMICA Y TECNOLOGÍAS DE PLANTACIÓN EN PRODUCCIÓN DE SEMILLA CATEGORIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR CON SISTEMA CUBANO

Héctor Jorge-Suárez^{1*}, Oscar Suárez-Benítez¹, Lázaro Abad-Cabrera², Samuel Cortez-Figueroa^{3,4}, Francisco Cuadras-Isaacc¹, José Angel Dranduet-Isbert¹, Liliana Carolina Córdova-Albores³, Gabriela Sandoval-Cancino^{4*}

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera CUJAE Km 1 ½. Boyeros. La Habana- Cuba. ²Empresa Agroindustrial Azucarera Ciudad Caracas. Lajas. Cienfuegos- Cuba.

³Universidad de Guadalajara. Ciudad Guzman, Jalisco, México.

⁴Centro Nacional de Recursos Genéticos. Tepatitlan de Morelos, Jalisco, México.

*Autor de correspondencia: sandoval.gabriela@inifap.gob.mx; hector.jorge@inica.azcuba.cu

PALABRAS CLAVE: Caña de azúcar, propagación, plantación.

INTRODUCCIÓN

En el cultivo de caña de azúcar es de suma Importancia la utilización de material propagativo de alta calidad, ya que es utilizado para la reproducción de las plantaciones (Jorge et al., 2019). Lo anteriormente planteado justifica la necesidad de continuar realizando investigaciones en las diferentes categorías de semilla con variedades adaptadas y altamente productivas con la intención de incrementar la producción (calidad y rentabilidad) de los ingenios (Alfaro et al., 2007). La semilla de calidad mejora los rendimientos agrícolas y azucareros.

El control fitosanitario en la producción de semilla es clave para asegurar plantaciones sanas, siendo más económico y efectivo que tratar enfermedades en áreas comerciales. (INICA 2021). Una industria de semilla fuerte es fundamental para el abastecimiento de material de propagación vigoroso a los productores y para el desarrollo prospectivo del sector agropecuario. La plantación de la caña de azúcar con simiente categorizada es el paso más simple e importante para elevar los rendimientos del cultivo, como parte integral de la estrategia de manejo agronómico del mismo (Jorge et al., 2018).

Uno de los factores que limita la producción de caña de azúcar es el empleo de semilla de baja calidad fitosanitaria, ya que en ocasiones se utilizan simientes de las áreas comerciales no procedente del encadenamiento del sistema de semilla (Básica, Registrada y Certificada), las que pueden presentar afectaciones por enfermedades. (Jorge et al., 2020). La micropropagación y los esquejes tratados térmica y químicamente mejoran la calidad de las semillas de caña de azúcar, previniendo enfermedades como la causada por *Xanthomonas albilineans*. Aunque Cuba cuenta con infraestructura y recursos para la producción de semilla categorizada, solo el 30% de las áreas tienen riego, predominando la simiente fiscalizada sobre la certificada. (INICA, 2021).

En Cuba alrededor del 70% de la plantación se realiza en el período de mayo-junio, en esta etapa es cuando más se acentúa el déficit de semilla ya que ha transcurrido todo el período de menor

precipitación (noviembre–abril) y el material de propagación no está apto, de ahí la importancia de incrementar los rendimientos en los bancos de semilla para poder destinar parte de las áreas para la producción de semilla certificada, donde la tecnología de plantación de base ancha puede ser una alternativa. (Jorge y Suárez (2020) Esta tecnología aporta beneficios importantes para la producción cañera.

Entre los más relevantes se encuentran el incremento de la población de los campos, mejor control de malezas con ahorros en el número de limpieas y la aplicación de herbicidas, mayor control del tráfico de los equipos por el camellón y por ende disminución de la compactación e incremento del rendimiento agrícola (Labrada et al., 2018).

OBJETIVO

1. Comparar los componentes del rendimiento agrícola y la producción de caña en plantas reproducidas por esquejes y por vitroplantas con diferentes tecnologías de plantación.
2. Evaluar la tecnología de plantación en surco de base ancha comparada con la tradicional, en áreas de semilla categorizada de caña de azúcar con dos métodos de reproducción agámica.
3. Determinar las variables que mayor influencia tienen en las t caña ha⁻¹.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidad de Estudio, cultivares, Métodos de reproducción y Tecnologías de plantación. El estudio se desarrolló en el Banco de Semilla Registrado (BSR) de la Empresa Agroindustrial Azucarera Ciudad Caracas en Cienfuegos, ubicado en la localidad de Manaquita municipio Lajas, sobre suelos Pardos con carbonato (Hernández et al., 2015). Con la edad de 11 meses, el cultivar utilizado fue C10-166.

A partir de plántulas obtenidas previamente *in vitro*, se colocaron hojas como explantes en matraces Erlenmeyer.

Cuadro 1. Cultivar, Método de reproducción y Tecnología de Plantación

Experimento	Métodos de Propagación Agámica	Tecnología de Plantación
Experimento 1	Esquejes de tres yemas y vitroplantas	Tradicional (1,50 entre hileras o surcos).
Experimento 2	Esquejes de tres yemas y vitroplantas	Base Ancha (1,40 +0,40).

Diseño experimental: el área de las parcelas del experimento con tecnología tradicional y el Base ancha. Las variables estudiadas fueron, rendimiento agrícola expresado en t caña ha⁻¹ (TCH) y sus componentes (longitud de los tallos (cm), diámetro de los tallos (cm) y número de tallos por metro,

así como la valoración económica en la propagación por esquejes comparando ambas tecnologías de plantación. Se empleó el diseño de bloque al azar con tres repeticiones.

Análisis estadístico de los datos: se realizaron análisis de varianza simple y prueba de comparación de medias mediante prueba Múltiple de Rango con dódima de Tukey ($p < 0,01$ y $p < 0,05$), se hizo una comparación entre las tecnologías de plantación con similar modo de reproducción entre los dos experimentos, se comparó en la reproducción por esquejes plantada a 1,50 m entre plantas (E1) y la base ancha (E2), de igual forma para la propagación por vitroplantas, además se realizaron regresiones de primer orden entre el número de tallos por metro lineal y tercer orden para el diámetro y la longitud del tallo, con el propósito de determinar las de mayor influencia en el rendimiento agrícola.

El procesamiento estadístico de la base de datos agrícola experimental, se realizó con Statgraphics-plus-5.0. Para la valoración económica se tuvo en cuenta la ficha de costo y precio para una hectárea de siembra de caña por el método tradicional cubano.

RESULTADOS

Experimento 1: Mostraron diferencias significativas para la longitud del tallo, el número de tallos m^{-1} lineal y las t caña ha^{-1} , en todos los casos la reproducción por vitroplantas fue superior a la reproducción por esquejes

Experimento 2: En este estudio solo mostraron diferencias significativas las variables número de tallos m^{-1} lineal y la producción de caña, también a favor de las vitroplantas.

Comparación entre las tecnologías de plantación con similar forma de reproducción en la variable t caña ha^{-1} : Los resultados de esta comparación tanto en la propagación por esquejes como por vitroplantas expresaron diferencias significativas entre los tratamientos, El método de plantación de base ancha en ambos casos superó al tradicional.

Relación entre las variables componentes del rendimiento agrícola con la producción de caña: Se expresó que para las condiciones de estos estudios, a medida que incrementó el número de tallos aumentó la producción de caña, alcanzado un coeficiente de determinación (R^2) superior al 89 %, mientras que las variables longitud del tallo y diámetro del tallo su mejor ajuste fue con una relación de tercer orden y en ambos casos el R^2 fue bajo, no obstante la altura logró más del 46 % y el diámetro inferior al 14 %.

El peso fresco de los tejidos (Figura 1) fue mayor para los medios líquidos, en comparación con el peso de los tejidos en medio semisólido.

CONCLUSIÓN

1. Se lograron incrementos significativos en las variables número de tallo m^{-1} y t caña ha^{-1} a favor de la propagación por vitroplantas que son componentes importantes en la producción de semilla.

-
2. La tecnología de plantación de base ancha superó a la tradicional (1,50 m) en la producción de tallos y el rendimiento agrícola en los dos métodos de propagación agámica.
 3. La relación Beneficio/Costo expresó resultados positivos (1,32) en la tecnología de plantación de base ancha cuando se plantó con esquejes.
 4. La variable número de tallos m^{-1} lineal tuvo una relación positiva y significativa con el rendimiento agrícola, lo que la ratifica como el componente que mayor influencia ejerce sobre la producción de caña.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Al Dr. Hector Jorge-Suárez (Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar), a la Dra. Liliana Carolina Cordova-Alvares (UDG), al CNRG-INIFAP.

LITERATURA CITADA

- Alfaro., R., Chavarría, E., Chaves, M. (2007). Recomendaciones Técnicas para el Establecimiento y Manejo de Semilleros Básicos de Caña de Azúcar en Costa Rica. Grecia, Costa Rica, LAICA-DIECA, 22 p.
- INICA. (2021). Instructivo Técnico para la Producción y Cultivo de la Caña de Azúcar. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar: 41p.
- Jorge, H. y Suárez, O. (2020). Evaluación de dos métodos de plantación en áreas de semilla categorizada de caña de azúcar. Revista Científica Agroecosistemas, 8, 2, 121-124.
- Martins, A., Landell, G. (1995) Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana de açúcar utilizados no programa Cana IAC Instituto Agronômico, Pindorama 15.
- Santana I., Nodarse O., Fernández, Z. (1992). Estudio comparativo de la propagación in vitro y por estacas en cuatro variedades de caña de azúcar. Revista Científica Caña de Azúcar 10,2, 51-59.

ACUMULACIÓN DE PROLINA, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y EXPRESIÓN DE GENES EN GENOTIPOS DE SOYA TOLERANTES A SEQUÍA

Julio César García-Rodríguez^{1,2}, Roxana Silerio-Espinosa³, María Karina Manzo-Valencia², Diego de Jesús Pantoja-Gutiérrez², Víctor Olalde-Portugal², Silvia Edith Valdés-Rodríguez^{2*}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Las Huastecas. Altamira, Tamaulipas, México.

²Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN-Unidad Irapuato. Irapuato, Guanajuato, México.

³Tecnológico Nacional de México-Celaya. Celaya, Guanajuato, México.

*Autor de correspondencia: silvia.valdes@cinvestav.mx

PALABRAS CLAVE: soya, fisiología, sequía.

INTRODUCCIÓN

La sequía es una limitante para la producción de soya [*Glycine max* (L.) Merr.] a nivel mundial, dificultando la capacidad de las plantas para obtener agua debido a una menor humedad en el suelo. Los impactos de la sequía en las plantas dependen de factores como la intensidad y duración del estrés, la etapa de crecimiento del cultivo y el genotipo (Kapoor et al., 2020). La soya es más susceptible a la sequía durante la etapa reproductiva.

La reducción del agua en el suelo provoca estrés osmótico y oxidativo en las plantas, por lo que tienen que ajustar su metabolismo para protegerse, destacando modificaciones en la transducción de señales, la osmorregulación, la activación del sistema de defensa antioxidante y la partición de asimilados (Fu et al., 2022). Bajo condiciones de sequía prolongada se incrementa la producción de especies reactivas del oxígeno. Por lo tanto, enzimas antioxidantes como la catalasa, superóxido dismutasa y peroxidasa juegan un papel importante en la adaptación de las plantas al estrés. Por otro lado, un incremento en la síntesis de aminoácidos como reguladores osmóticos también se ha reportado como resultado del estrés por sequía en las plantas. La prolina ayuda a retener el agua en los tejidos ajustando el potencial osmótico intracelular, considerándose que en genotipos tolerantes a sequía aumentan, en mayor proporción, los niveles de dicho aminoácido.

Estudios previos realizados en soya han documentado un incremento en la actividad de superóxido dismutasa en materiales de soya sometidos a déficit hídrico (Wang et al. (2021). Por otro lado, Silvente et al. (2012) reportaron que la sequía durante la floración incrementó el contenido de prolina en los genotipos NA5009RG (tolerante) y DM50048 (susceptible).

Diversas investigaciones reportan la activación de una serie de genes que sintetizan proteínas participantes en vías metabólicas que, de manera sinérgica, contribuyen en la tolerancia al estrés

por sequía en soya. Un análisis comparó la respuesta de los genotipos MG/BR46 (tolerante) y BR16 (susceptible) a sequía, observándose un incremento en la expresión del gen *GmP5CS* ($\Delta 1$ pirrolina-5-carboxilato sintasa) responsable de la síntesis de prolina, en el genotipo tolerante a los 30 días después del estrés hídrico (Stolf-Moreira et al., 2010). Mientras que en otro análisis se observó la inducción de genes que codifican para un superóxido dismutasa cloroplástica dependiente de Cu-Zn (Glyma.12g081300) y una peroxidasa (Glyma.14g056300) en plantas de soya sometidas a estrés por sequía (de Oliveira-Busatto et al., 2022).

En México se ha reportado la tolerancia a sequía en genotipos de soya bajo condiciones de campo, ya que mostraron un rendimiento más estable entre la condición de riego y la condición de estrés. Sin embargo, las respuestas a nivel fisiológico, bioquímico y molecular permanecen sin estudiarse. La obtención de este conocimiento es importante para el desarrollo de materiales de soya más resilientes bajo condiciones de estrés hídrico.

OBJETIVO

Analizar el contenido de prolina, la actividad enzimática antioxidante y la expresión de genes en tres genotipos de soya mexicana bajo condiciones de estrés hídrico progresivo y riego de recuperación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron tres genotipos de soya bajo condiciones de invernadero, uno de madurez temprana (H02-2309, denominado en este trabajo como E2309) y dos de madurez intermedia (H98-1240 y Huasteca 700, denominados como I1240 e I700, respectivamente).

La determinación de prolina se llevó a cabo por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en un equipo Shimadzu high-performance liquid chromatograph, provisto con una columna XDB-C18 Zorbax Eclipse [4.6 × 150 mm (D × L), tamaño de partícula 3.5 μ m]. La extracción de prolina se realizó en 50 mg de tejido fresco de hoja con 600 μ L de etanol absoluto frío y 600 μ L de GABA (γ -aminobutirato) 0.12 mM. Para la derivatización se utilizó fenil isotiocianato (PITC). Se inyectaron muestras de 20 μ L. La fase móvil A se compuso por acetato de sodio trihidratado 0.1 M, pH de 6.5 y 7.6% de acetonitrilo y la fase móvil B por acetonitrilo y agua en relación 4:1. El programa de elución consistió en los siguientes pasos: 100% A y 0% B (minuto 0), 91% A y 9% B (minuto 10), 84.5% A y 15.5% B (minuto 10.1), 65% A y 35% B (minuto 23), 100% A y 0% B (minuto 24), deteniéndose en el minuto 30. La elución se monitoreó por absorbancia a 254 nm y el contenido de prolina se cuantificó por el área bajo la curva, utilizando un estándar del aminoácido.

La actividad de las enzimas superóxido dismutasa y peroxidasa se determinó en muestras de hoja de 50 mg, haciendo la extracción en 800 μ L de amortiguador de fosfatos pre congelado (pH de 7.0 a 50 mM para superóxido dismutasa y pH de 6.8 a 0.1 M para peroxidasa). El contenido total de proteína se determinó por el ensayo de Bradford. La actividad de superóxido dismutasa se midió mediante la reducción en la tasa de absorbancia de azul cloruro de tetrazolio P-nitro (NBT) a 560

nm. Mientras que la actividad de peroxidasa se midió utilizando pirogalol. El procedimiento se basa en la capacidad de la enzima para catalizar la oxidación del pirogalol en presencia de H₂O₂, lo que resulta en la formación de un producto oxidado que se cuantifica con la absorbancia de la solución a 420 nm.

Para los análisis de expresión génica, el ARN total se extrajo con Trizol en 100 mg de tejido fresco de hoja. La síntesis de ADNc se realizó mediante la enzima transcriptasa reversa M-MLV (virus de la leucemia de Maloney) en 1 µg de ARN tratado con ADNasa. Se analizaron los genes *GmP5CS* (Δ 1 pirrolina-5-carboxilato sintasa) y *GmCSD3* (super óxido dismutasa cloroplástica dependiente de Cu y Zn). Los genes *Gm β -actin* (actina de *Glycine max*) y *GmELF1 β* (factor de elongación 1-beta de *Glycine max*) se seleccionaron como controles endógenos para la normalización. La qPCR se realizó en un termociclador CFX96TN Real-Time System C1000 Touch, utilizando un “Maxima SYBR Green/ROX qPCR Master Mix (2X)”. Las condiciones de PCR fueron 95 °C durante 10 min y 40 ciclos de 95 °C durante 15 s, 60 °C durante 30 s y 72 °C durante 30 s, seguido de 65 °C por 0.05 s. La expresión relativa de los genes se determinó aplicando el método $2^{-\Delta\Delta C_t}$.

Diseño experimental: se utilizó un diseño experimental de bloques al azar. Las plantas se sometieron a dos condiciones de humedad: riego (control) y déficit hídrico. El déficit hídrico se impuso en la etapa de crecimiento R2 mediante la reducción gradual del riego durante 17 días, tratando de simular las condiciones reales de sequía en campo. Posteriormente se aplicaron riegos de recuperación. Las plantas control recibieron riego regular cada tercer día durante todo el experimento. La humedad del suelo se estimó por el método gravimétrico. El contenido de prolina y la actividad enzimática antioxidante se determinó a los 0 y 17 días del déficit hídrico y a los 8 días del riego de recuperación, calculándose el cambio relativo. Mientras que la expresión de genes se analizó a los 17 días del déficit hídrico y a los 8 días del riego de recuperación.

Análisis estadístico de los datos: todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico R (Versión 4.3.2). Se llevó a cabo un análisis de varianza de una vía para cada una de las fechas de muestreo utilizando las funciones básicas del “software”. Para la comparación de medias se aplicó la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95% mediante la librería “agricolae”.

RESULTADOS

La reducción del riego en las plantas de soya disminuyó de manera progresiva la humedad gravimétrica del suelo, de 11.5% a 3.5% a los 17 días del déficit hídrico, provocando un estrés severo (Figura 1). La humedad del suelo se restableció a los 8 días del riego de recuperación. En el tratamiento control, ésta se mantuvo alrededor del 11.0% durante todo el estudio.

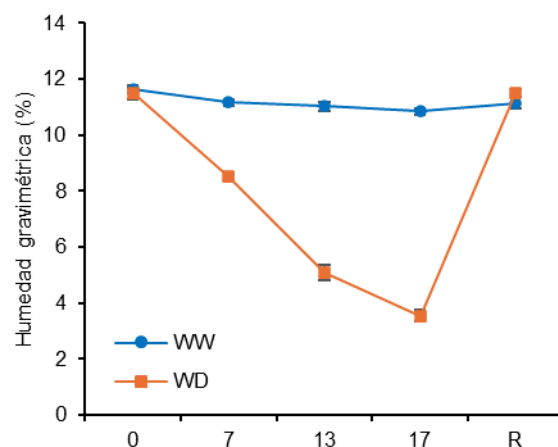


Figura 1. Humedad gravimétrica del suelo durante el estrés hídrico progresivo por 17 días y 8 días después del riego de recuperación. WD, déficit hídrico; WW, riego. Los números del 0 al 17 en el eje de las “x” corresponden a los días del déficit hídrico y la letra R corresponde a los 8 días del riego de recuperación. Los valores representan los promedios $\pm$ error estándar (n=9).

El estrés hídrico severo promovió incrementos considerables, de 84.1 y 68.7 veces, en la concentración de prolina en los genotipos E2309 e I700, respectivamente (Figura 2A). Después del riego de recuperación los genotipos regresaron a sus valores basales.

Por otro lado, los tres genotipos de soya aumentaron la actividad de superóxido dismutasa a los 17 días del déficit hídrico, pero I1240 sobresalió por encima de E2309 e I700 con un incremento de 2.2 veces (Figura 2B). A los 8 días del riego de recuperación, sólo I700 permaneció con un incremento significativo (1.2 veces). La actividad de peroxidasa exhibió cambios hasta después del riego de recuperación en los genotipos intermedios (I1240 e I700), destacando I700 como el que registró un mayor incremento (1.7 veces) (Figura 2C). En el genotipo temprano (E2309) disminuyó la actividad de peroxidasa a los 8 días del riego de recuperación (0.6 veces), pero mostró un aumento de 1.1 veces durante el estrés severo, mientras que los genotipos intermedios registraron una actividad a la baja (0.8 veces).

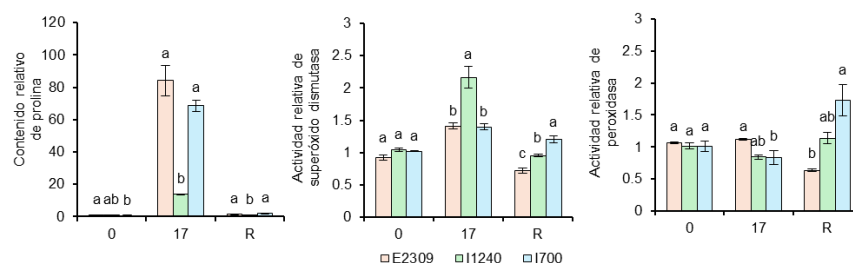


Figura 2. Incremento relativo de prolina y actividad enzimática antioxidante en tres genotipos de soya a los 0 y 17 días del estrés hídrico y 8 días después del riego de recuperación. Las barras que comparten la misma letra en cada fecha de muestreo no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los valores de las barras representan

los promedios $\pm$ el error estándar (n=3). Los números 0 y 17 en el eje de las “x” corresponden a los días del déficit hídrico y la letra R corresponde a los 8 días del riego de recuperación.

En cuanto a la expresión de genes, el genotipo E2309 y uno de los genotipos intermedios (I1240) aumentaron significativamente la expresión de *GmP5CS*, participante en la biosíntesis de prolina, bajo condiciones de estrés severo en 2.1 y 2.5 veces, respectivamente (Figura 3A). Posterior al riego de recuperación, la expresión de este gen sólo se incrementó en 1.1 veces en el genotipo 1700 (Figura 3C).

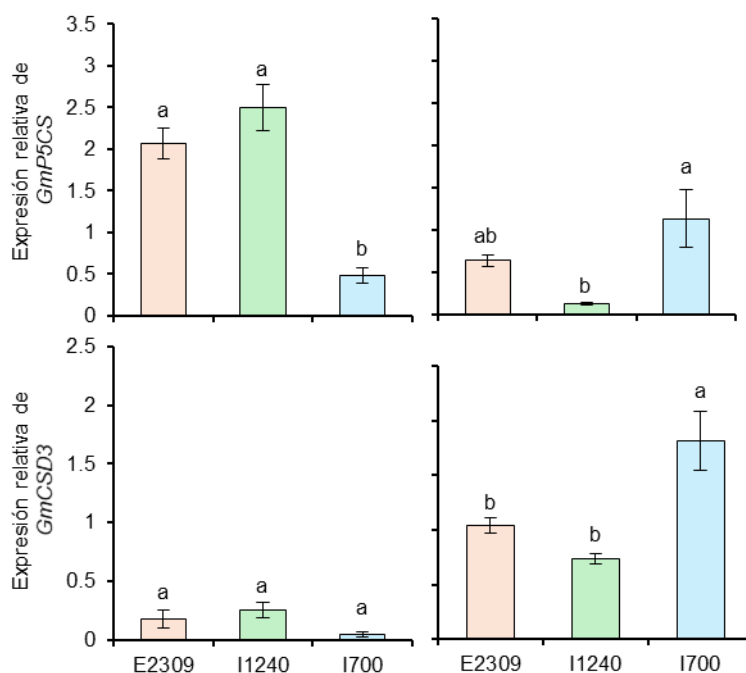


Figura 3. Expresión relativa de dos genes que responden a sequía en tres genotipos de soja durante el estrés severo y la etapa de recuperación. (A) *GmP5CS* y (B) *GmCSD3* a los 17 días del déficit hídrico. (C) *GmP5CS* y (D) *GmCSD3* a los 8 días del riego de recuperación. Las barras que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los valores de las barras representan los promedios $\pm$ el error estándar (n=3).

Por otra parte, la expresión del gen codificante para una enzima superóxido dismutasa dependiente de Cu y Zn (*GmCSD3*) se redujo en 0.04-0.25 veces durante el estrés severo en los tres genotipos de soja (Figura 3B). Después de reestablecer el riego, los niveles de transcritos se incrementaron (1.8 veces) solamente en I700 (Figura 3D), el genotipo E2309 regresó a sus niveles basales, mientras que I1240 continuó mostrando una expresión reducida.

CONCLUSIÓN

El genotipo E2309 incrementó los niveles de prolina y la expresión del gen *GmP5CS* durante la etapa de mayor estrés, lo que sugiere la activación de un mecanismo osmoprotector para tolerar la sequía.

En cambio, el genotipo I1240 respondió al estrés mediante la activación de mecanismos antioxidantes, reflejados en un aumento en la actividad de superóxido dismutasa. Por su parte, el genotipo I700 no sólo acumuló prolina durante el estrés severo, sino también en la etapa de recuperación. Además, presentó un incremento en la actividad de enzimas antioxidantes y en la expresión de los genes *GmP5CS* y *GmCSD3* en dicha etapa, lo que podría indicar una mayor plasticidad genética, a nivel fisiológico y molecular, para tolerar el estrés hídrico y recuperarse más eficientemente.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

A la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), antes CONACYT, por otorgar la beca 778860 a Julio César García Rodríguez para llevar a cabo los estudios de Doctorado.

LITERATURA CITADA

- de Oliveira-Busatto, L. A., de Almeida, R. M. C., Weber, R. L. M., Favero, D., Bredemeier, C., da Silva Giordano, C. P., & Bodanese-Zanettini, M. H. (2022). The soybean transcriptogram allows a wide genome-to-single-gene analysis that evinces time-dependent drought response. *Plant Molecular Biology Reporter*, 40(1): 1–27. <https://doi.org/10.1007/s11105-021-01297-4>
- Fu, X., Wang, J., Shangguan, T., Wu, R., Li, S., Chen, G., & Xu, S. (2022). SMXLs regulate seed germination under salinity and drought stress in soybean. *Plant Growth Regulation*, 96(3): 397–408. <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00786-6>
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, 10(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/app10165692>
- Silvente, S., Sobolev, A. P., & Lara, M. (2012). Metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive soybean genotypes in response to water stress. *PLoS ONE*, 7(6), e38554. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038554>
- Stolf-Moreira, R., Medri, M. E., Neumaier, N., Lemos, N. G., Pimenta, J. A., Tobita, S., Brogin, R. L., Marcelino-Guimares, F. C., Oliveira, M. C. N., Farias, J. R. B., Abdelnoor, R. V., & Nepomuceno, A. L. (2010). Soybean physiology and gene expression during drought. *Genetics and Molecular Research*, 9(4): 1946–1956. <https://doi.org/10.4238/vol9-4gmr851>
- Wang, X., Jiang, J., Wu, Z., Li, X., & Dong, S. (2021). Relationship between soil moisture content and superoxide dismutase activity in soybean leaves in Northeast China. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 15(6): 799–804. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2021.2148>

CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA TEMPRANA COMO VENTAJA ADAPTATIVA FRENTE AL ESTRÉS POR ALTAS TEMPERATURAS EN EL CULTIVO DE TRIGO

R. Suzuki Pinto^{1*}, Enrico A. Yepez¹, Jaime Garatuza-Payán¹

¹Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora, Ciudad Obregón, Sonora, México.

*Autor de correspondencia: suzuki.pinto19018@potros.itson.edu.mx

PALABRAS CLAVE: estrés, calor, cambio climático.

INTRODUCCIÓN

El estrés por altas temperaturas, particularmente durante la etapa reproductiva, es una limitante importante para el desarrollo y la productividad del trigo. Aunque el impacto del calor diurno ha sido ampliamente documentado, las temperaturas nocturnas aumentan más rápido que las diurnas (IPCC, 2023) y su efecto ha sido menos estudiado. Se estima que, por cada incremento de 1 °C en las temperaturas mínimas, el rendimiento de trigo de primavera disminuye en promedio 1.9%, con reportes de hasta un 10% (Lobell y Ortiz-Monasterio, 2007). Este impacto podría intensificarse con el calentamiento global y el aumento en frecuencia e intensidad de olas de calor, al acelerar la senescencia, reducir el número de granos y limitar la disponibilidad de fotoasimilados para el llenado.

El intercambio gaseoso planta-atmósfera varía entre especies y cultivares, y depende en gran parte de la morfología y estructura estomática. Existe cierta plasticidad fenotípica en la morfología estomática y en su funcionalidad, lo cual podría conferir ventajas adaptativas al estrés hídrico, alta radiación o al calor. La eficiencia del intercambio gaseoso a través de los estomas, afecta las ganancias de carbono y las pérdidas de agua ya que los estomas pueden permanecer parcialmente abiertos de noche, causando pérdidas hídricas de hasta 55% de las diurnas (Schoppach et al., 2014) y aunque la función de la conductancia estomática nocturna no está del todo clara, se cree que podría favorecer la fotosíntesis matutina. Diversos estudios han mostrado que g_{sN} alcanza picos antes del amanecer (Caird et al., 2007) en un patrón circadiano que optimiza la respuesta fisiológica a ciclos ambientales. Este pico pre-amanecer puede ser ventajoso para tolerancia a sequía y ganancias de carbono lo cual se ha visto asociado a mayor clorofila y biomasa y, posiblemente a acumulación de carbohidratos o a regulación circadiana de la conductividad hidráulica de raíz. En este contexto, comprender la relación entre temperaturas nocturnas y la conductancia diurna temprana es clave para el desarrollo de variedades de trigo tolerantes al calor.

OBJETIVO

Determinar si el aumento en la conductancia estomática diurna temprana proporciona una ventaja adaptativa en el cultivo de trigo, bajo condiciones de temperatura nocturna elevada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo 2010-2011 se sembraron dos experimentos de campo, uno bajo condiciones de alto potencial de rendimiento expuesto a condiciones ambientales sin manipulación (Control) y otro bajo condiciones de alta temperatura nocturna controlada artificialmente (Calor). El tratamiento de temperatura nocturna consistió en incrementar la temperatura del dosel en 2°C utilizando 21 radiadores térmicos (Mor Electric Company Heating Association Inc. Comstock Park, MI, USA) colocados sobre una estructura metálica de 7.1 × 7.1 m misma que fue levantada durante el ciclo para mantener una distancia de 1.2 m entre la planta y los calentadores. Se colocaron cuatro termómetros infrarrojos (IRTS Apogee Instruments Inc., Logan, UT, USA) a una inclinación de 45°, en las cuatro esquinas de las estructuras metálicas de los bloques de calor y en los bloques control registrando la temperatura del dosel cada 15 minutos mediante un datalogger (CR1000 Campbell Sci, Inc., Logan, UT, USA). El incremento de temperatura de los bloques de calor fue controlado mediante el diferencial respecto a los bloques control utilizando un algoritmo proporcional integrativo derivativo desarrollado por Kimball et al. (2015).

Cada unidad experimental consistió en una parcela de 0.5 × 3.2 m donde se llevó a cabo la siembra de manera mecánica sobre camas planas de doble hilera. El riego se aplicó mediante goteo cada 15 días en promedio para evitar limitaciones de agua. Se fertilizó con 200 u ha⁻¹ de nitrógeno en febrero y se controlaron plagas y enfermedades según se requirió.

Diseño experimental: el diseño experimental utilizado fue bloques al azar con dos repeticiones por tratamiento, incluyendo en cada uno 12 genotipos de trigo elite seleccionado en ensayos previos por su contraste en tolerancia al estrés por calor.

Cuadro 1. Lista de los 12 genotipos de trigo incluidos en el presente estudio identificados por código GID y el nombre de la cruza.

GID	Nombre de la cruza
5077000	CIRNO C 2008
2465	PAVON F 76
7806808	BORLAUG100 F2014
5893282	WEEBILL1
3825355	SOKOLL
3855011	VOROBAY
3823821	PASTOR//HXL7573/2*BAU
7129721	SOKOLL//PUB94.15.1.12
5865670	BAV92/SERI
5180627	BAV9
6692380	
7	

Variables registradas: *Conductancia estomática (gs)*

La conductancia estomática se midió en la cara adaxial de la hoja bandera durante la mañana a las 09:00 y 10:00 h (gsD9 y gsD10) y en la noche (gsN) entre 19:00 y 21:00 h. en ambas caras de la hoja. Las mediciones se realizaron en las etapas de embuche y llenado de grano (espigamiento +12 días), en cuatro hojas bandera por unidad experimental. No se tomaron datos antes del amanecer ni después de las 21:00 h por limitaciones técnicas relacionadas con el rocío. Se emplearon porómetros Li-600 (Li-Cor, EE. UU.) con configuración estándar ajustando la resolución a $0,005 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La conductancia estomática promedio por etapa se reporta como gs.B (embuchado) y gs.G (llenado de grano), mientras que la media matutina general se presenta como gs.Av.

Variables agronómicas y fenología: Se registró el rendimiento (Yld), peso de grano (TGW), número de granos (GN) y biomasa (Bm) al momento de la cosecha excluyendo ~0.5m de bordo en cada unidad experimental. Yld se calculó pesando el grano obtenido después de la trilla y dividiendo entre el área de cosecha; TGW se determinó pesando una muestra de 200 granos obtenidos de la cosecha, y con estos datos se calculó GN. La biomasa se obtuvo pesando el total de material vegetal aéreo producido por área de cosecha (Pietragalla et al., 2012). La fenología de la planta se registró como el número de días después de la emergencia (dae) necesarios para alcanzar la antesis (DTA) y la madurez fisiológica (DTM), correspondientes al día en que el 50% de la unidad experimental alcanzó la etapa de crecimiento decimal de Zadoks 6.0 y 9.0 respectivamente (Zadoks et al., 1974).

Análisis estadístico: Los análisis estadísticos se realizaron en R (R core team). Los caracteres con distribución normal, como el rendimiento, sus componentes y la fenología se analizaron mediante un modelo lineal mixto (GLMM). La conductancia estomática (gs y gsN) se analizó mediante una prueba ANOVA robusta (paquete WRS2) con un $\alpha=0,05$ (Wilcox, 2003) dada su falta de normalidad. La comparación de grupos de genotipos destacados se realizó mediante la prueba t-student.

RESULTADOS

La conductancia estomática temprana registrada en el embuche (gsD9 y gsD10) resultó significativamente más alta en el tratamiento de calor que en el control ($P<0.0005$); en promedio las parcelas cultivadas bajo alta temperatura nocturna registraron un aumento del 7.6% en gsD9 y gsD10. Durante el llenado de grano, se observó el mismo comportamiento para gsD9 ya que la conductancia estomática fue 71% mayor en las parcelas de calor en comparación al control ($P<0.05$). En esta misma etapa gsD10 mostró valores 63% mayores que el control ($P>0.05$). Se detectaron diferencias entre genotipos en ambas etapas fenológicas tanto para gsD9 como gsD10 ($P<0.05$).

La conductancia estomática nocturna (gsN) disminuyó un 52.3 % por efecto del tratamiento de calor ($P<0.001$); no obstante, el grado de reducción fue dependiente del genotipo. La media para gsN en el control y en el tratamiento de calor fue $0.035 \pm 0.047 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $0.017 \pm 0.020 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Valores menores de gsN se observaron en hojas más jóvenes ($P<0.0001$) al comparar el embuche con llenado de grano.

Yld bajo calor fue estadísticamente igual al control ($P > 0.05$), sin embargo, se observó variabilidad genotípica para Yld en ambos tratamientos. El genotipo más rendidor (Yld) bajo condiciones de calor reportó 588 gm-2 (GID-5577000), mismo genotipo que reportó también la Bm y Gn más altos en este tratamiento. En el control, el genotipo más rendidor reportó 557 gm-2. La Bm y el Gn más altos se observaron en los genotipos GID- 5077000 y GID- 5893282, respectivamente. El análisis de fenología no mostró diferencias en DTA y DTM entre calor y control. La conductancia temprana promedio (gs.Av) a través de etapas fenológicas y hora del día se utilizó como criterio para la formación de dos categorías: genotipos de “alta conductancia” y genotipos de “baja conductancia”; los primeros mostraron en promedio 43% y 35% mayor gs.Av. Al comparar los tres genotipos más altos contra los tres genotipos más bajos en gs.Av de cada ambiente, se observaron diferencias significativas en gs.Av, Yld y Gn ($P < 0.05$). Bajo condiciones de calor los genotipos con “alta conductancia” registraron en promedio +14% Yld, +8.8% Bm y +13.7% Gn. En el control la ganancia fue menor observándose +4% en Bm y Yld. Solamente un genotipo fue encontrado en ambos tratamientos categorizado como de “baja conductancia” (GID- 5865670). Para este set de genotipos seleccionados gs.Av se correlacionó positivamente con Yld ($r = 0.60$, $P = 0.039$).

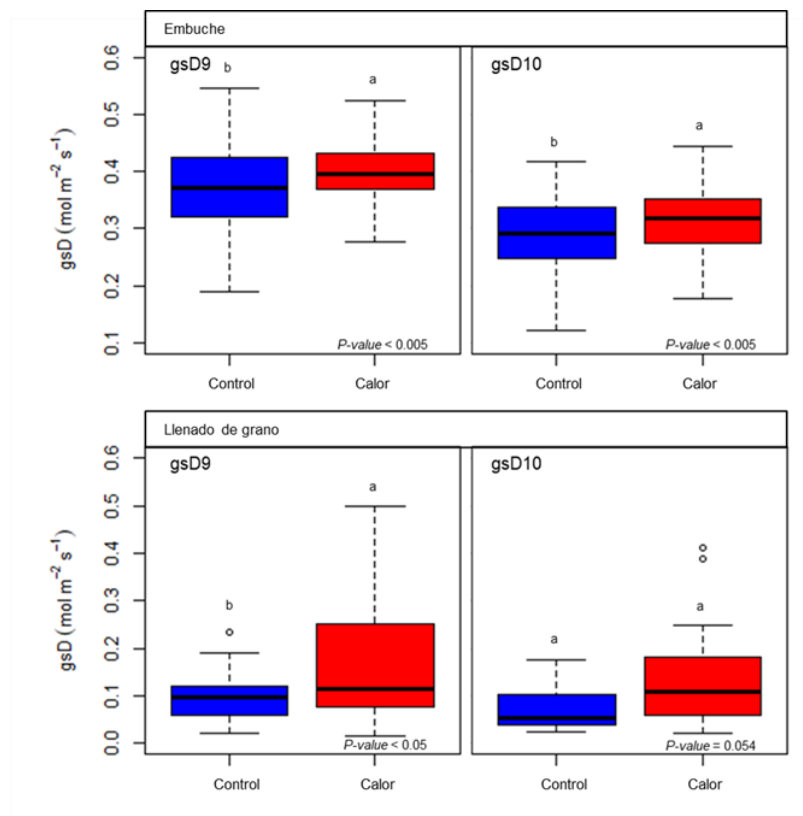


Figura 1. Conductancia estomática temprana registrada a las 09:00 h (gsD9) y 10:00 h (gsD10) durante las etapas de embuche y llenado de grano en 12 genotipos de trigo cultivados bajo altas temperaturas nocturnas (Calor-rojo) y a temperatura ambiente (Control-azul). Diferencias estadísticas se muestran con las letras a y b sobre las cajas del boxplot.

Cuadro 2. Genotipos de “alta conductancia” y “baja conductancia” seleccionados por gs.Av en cada tratamiento, su rendimiento (Yld), biomasa (Bm) y número de granos (GN).

GID	Grupo (gs.)	gs.Av.	Yld	Bm	Gn
		mol m ⁻² s ⁻¹	gm ²	gm ²	grains
CALOR					
3825355 B <i>aia</i>		0.225 ± 0.016	476 ± 10.2	1114 ± 32.4	10779 ± 1156
7129721 B <i>aia</i>		0.218 ± 0.021	422 ± 11.7	997 ± 4.8	10031 ± 210
5885670 B <i>aia</i>		0.205 ± 0.027	432 ± 177	973 ± 385	9005 ± 3406
5077000 A <i>lta</i>		0.279 ± 0.031	588 ± 7.0	1331 ± 235	12931 ± 1808
5893282 A <i>lta</i>		0.336 ± 0.016	470 ± 107	1001 ± 220	11541 ± 1889
7171118 A <i>lta</i>		0.288 ± 0.046	528 ± 48.5	1189 ± 11.0	12372 ± 297
M <i>edia</i> :					
Tratamiento		0.253 ± 0.036	465 ± 59.0	1078 ± 130	10806 ± 1364
BAJA- grupo		0.216 ± 0.010	443 ± 28.7	1028 ± 75.0	9938 ± 891
A LTA- grupo		0.308 ± 0.031	529 ± 59.0	1186 ± 165	12236 ± 699
CONTROL					
2465 B <i>aia</i>		0.181 ± 0.045	365 ± 51.1	1001 ± 115	12991 ± 1266
5885670 B <i>aia</i>		0.163 ± 0.038	432 ± 5.50	1106 ± 74.3	10471 ± 437
6092380 B <i>aia</i>		0.181 ± 0.047	388 ± 90.3	990 ± 186	9851 ± 1409
3855011 A <i>lta</i>		0.236 ± 0.026	413 ± 28.1	1115 ± 143	10598 ± 721
3823821 A <i>lta</i>		0.237 ± 0.021	557 ± 37.4	1303 ± 81.5	12928 ± 1122
7129721 A <i>lta</i>		0.235 ± 0.024	411 ± 36.4	1050 ± 142	10974 ± 641
M <i>edia</i> :					
Tratamiento		0.209 ± 0.027	443 ± 57.4	1106 ± 122	11722 ± 1436
BAJA- grupo		0.175 ± 0.010	395 ± 33.8	1032 ± 64.0	11038 ± 1741
A LTA- grupo		0.236 ± 0.001	460 ± 83.5	1156 ± 131	11500 ± 1251
gs.Av: promedio de conductancia diurna temprana a través de etapas fenológicas y hora de medición.					
Se muestra la media ± la desviación estándar (n=2).					

CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio evidencian que el incremento en la conductancia estomática matutina bajo condiciones de altas temperaturas nocturnas favoreció el mantenimiento del rendimiento y sus componentes en determinados genotipos, a pesar de la reducción significativa en la conductancia estomática nocturna. La clasificación de los materiales en grupos de alta y baja conductancia permitió identificar que una mayor apertura estomática durante la mañana se asocia consistentemente con incrementos en rendimiento, biomasa y número de granos, lo que posiciona a la conductancia estomática temprana como un rasgo fisiológico clave para la selección de germoplasma adaptado a escenarios de calor nocturno. Adicionalmente, la respuesta anticipada a la luz y el aumento de la conductancia estomática diurna temprana parecen constituir una capacidad adaptativa que optimiza el intercambio de gases y la captura de CO₂ en momentos de menor déficit de presión de vapor, lo que a su vez promueve una mayor asimilación de carbono y contribuye al incremento en biomasa, número de granos y rendimiento.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Los autores agradecen el financiamiento brindado por Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) con la beca posdoctoral de RSP (CVU 173534), al Newton-México BBSRC partnership award (grant BB/S012834/1) y especialmente el invaluable apoyo de estudiantes y

técnicos de ITSON y CIMMYT quienes colaboraron activamente en la colecta de datos y establecimiento de los experimentos.

LITERATURA CITADA

- Lobell, D. B., & Ortiz-Monasterio, J. I. (2007). Impacts of day versus night temperatures on spring wheat yields: A comparison of empirical and CERES model predictions in three locations. *Agronomy Journal*, 99(2), 469–477.
- IPCC (2023). Consulted on August 15th, 2023. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>.
- Schoppach, R., Claverie, E., & Sadok, W. (2014). Genotype-dependent influence of night-time vapour pressure deficit on night-time transpiration and daytime gas exchange in wheat. *Functional Plant Biology*, 41(9), 963–971.
- Caird, M. A., Richards, J. H., & Donovan, L. A. (2007). Nighttime stomatal conductance and transpiration in C3 and C4 plants. *Plant physiology*, 143(1), 4-10. <https://doi.org/10.1104/pp.106.092940>.
- Kimball, B. A., White, J. W., Ottman, M. J., Wall, G. W., Bernacchi, C. J., Morgan, J., & Smith, D. P. (2015). Predicting canopy temperatures and infrared heater energy requirements for warming field plots. *Agronomy Journal* 107: 129-141.
- Pietragalla J., Mullan D.M., Reynolds M.P. (2012). *Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping*. Ciudad Obregon, México: CIMMYT.
- Wilcox, R. R., & Keselman, H. J. (2003). Modern robust data analysis methods: measures of central tendency. *Psychological methods*, 8(3), 254. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.8.3.254>.
- Zadoks JC, Chang T. T., Konzak C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415–421.

EFFECTO DE FECHAS DE SIEMBRA EN EL CONTENIDO DE CLOROFILA DE VARIEDADES DE SOYA EN ETAPAS REPRODUCTIVAS

Juan Samuel Guadalupe, Jesús Alcalá Rico^{1*}, Nicolas Maldonado Moreno¹, Odilon Gayosso Barragan², Sergio Arellano Arciniega³, Ulises Aranda Lara⁴, Ricardo Avilés Ruiz¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CIRNE, Campo Experimental Las Huastecas, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID Agricultura Familiar, Ojuelos de Jalisco, Jalisco.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CIRNOC, Campo Experimental Pabellon, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CIRCE, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato.

*Autor de correspondencia: alcala.juan@inifap.gob.mx.

PALABRAS CLAVE: SPAD, *Glycine max*, fenología.

INTRODUCCIÓN

La soya (*Glycine max*) es una de las oleaginosas de mayor relevancia a nivel mundial, debido a su alto contenido de aceite, proteína y su capacidad de fijación biológica de nitrógeno (Latifinia y Eisvand, 2022). Estas características han generado una creciente demanda del cultivo. En México, la producción anual alcanza aproximadamente 199,163 toneladas, mientras que se requiere importar cerca de 6,423,000 toneladas para satisfacer el consumo nacional (SIAP, 2022; USDA, 2025). Para reducir esta dependencia externa, es fundamental incrementar la producción nacional. Una estrategia para incrementar el rendimiento consiste en aumentar la eficiencia fotosintética (He y Matthews, 2023). La fotosíntesis foliar es un proceso fisiológico clave que influye directamente en el crecimiento, desarrollo y estado de salud de las leguminosas (Vollmann *et al.*, 2011). En este contexto, el contenido de clorofila ha demostrado ser un indicador relevante en diversos cultivos, debido a su correlación positiva con el contenido de nitrógeno foliar y la tasa fotosintética (Fritschi y Ray, 2007). Las clorofilas y los carotenoides, pigmentos localizados en los cloroplastos, desempeñan funciones esenciales como la captación de luz, transferencia de energía, reacciones redox fotoquímicas y fotoprotección. Sin embargo, la soya es una planta de días cortos, por lo que factores abióticos como la duración del día determinada por la fecha de siembra y la ubicación geográfica afectan significativamente su crecimiento y reproducción, al estar estrechamente vinculados al fotoperiodo. En este sentido, el contenido de clorofila puede proporcionar información valiosa sobre las variaciones en las reacciones dependientes de la luz, permitiendo una mejor comprensión de los procesos fisiológicos que regulan el desarrollo de la planta (Mathur *et al.*, 2023).

OBJETIVO

Determinar el efecto de las fechas de siembra en el contenido de clorofila de variedades de soya a través de sus etapas reproductivas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Campo Experimental Las Huastecas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, cuyas coordenadas son 22°33'57"LN y 98°09'53"LO con una altitud de 16 msnm. Como material vegetal se utilizaron siete variedades de soya desarrolladas por el INIFAP para la región Huasteca: Huasteca 100 (H100), Huasteca 200 (H200), Huasteca 300 (H300), Huasteca 400 (H400), Tamesí, Huasteca 600 (H600) y Huasteca 700 (H700). La preparación del terreno constó de labranza convencional, se realizó un barbecho de 20 a 30 cm de profundidad, dos pasadas de rastra 20 días después del barbecho, y surcado a una distancia de 76 cm entre surcos. La densidad utilizada fue de 250,000 plantas por hectárea. Las variedades se sembraron en tres fechas: 6 de julio de 2022 (FS1), 20 de julio de 2022 (FS2) y 3 de agosto de 2022 (FS3). En el momento en que cada parcela llegó a una etapa reproductiva, se realizó la medición del contenido de clorofila a través de un SPAD. Para esta actividad se monitorearon las etapas reproductivas de R1 a R6 de cada variedad en las tres fechas de siembra.

Diseño experimental: las fechas de siembra y variedades se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones. La parcela grande estuvo conformada por las fechas de siembra y la parcela chica fueron las siete variedades de soya. Constando cada parcela chica de dos surcos de 4m.

Análisis estadístico de los datos: los datos se procesaron por medio de análisis de varianza y comparación de medias múltiples de Tukey ($P \leq 0.05$) expresado en gráficos de barras. Se utilizó el software R versión 4.5.

RESULTADOS

El análisis de varianza del contenido de clorofila reveló diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para la fuente de variación variedades en todas las etapas reproductivas evaluadas. En cuanto a las fechas de siembra, hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en las etapas R1, R2 y R5, mientras que en las etapas R3, R4 y R6 mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la misma fuente de variación.

En la figura 1, se muestra el contenido de clorofila a través de fechas de siembra durante las distintas etapas reproductivas, donde se observó que, de acuerdo con la comparación de medias de Tukey, en el 50% de las etapas se formaron dos grupos estadísticamente diferenciados, mientras que en el resto se identificaron tres grupos. En las etapas R1, R2 y R5, las primeras dos fechas de siembra mostraron un contenido de clorofila superior al de la tercera fecha, con incrementos de 9.7, 8.3 y 4.3%, respectivamente. En contraste, durante la etapa R3, la tercera fecha de siembra presentó el

mayor contenido de clorofila, superando a la segunda y primera fecha en 1.4 y 6%, respectivamente. La etapa R4 tuvo una tendencia similar a la de R3, con la tercera fecha de siembra superando a la segunda en 0.3% y a la primera en 5.1%. En R6 destacó la segunda fecha de siembra contribuyendo con 2.9 y 4.6% más contenido de clorofila en comparación con la primera y tercera fecha. Por otro lado, la R1 y R2 mostraron una disminución progresiva en el contenido de clorofila conforme se retrasaba la fecha de siembra. Por el contrario, en R3 y R4 se observó un incremento en el contenido de clorofila con siembras más tardías. A partir de R5 no se identificó una tendencia de acuerdo con las fechas de siembra.

En lo que se refiere al contenido de clorofila de variedades de soya a lo largo de etapas reproductivas (Figura 2), se observó la formación de tres a seis grupos de acuerdo con la comparación de medias de Tukey. Esta variabilidad podría atribuirse a la constitución genética específica de cada variedad, lo que favorece una expresión diferencial del contenido de clorofila según la etapa reproductiva y la fecha de siembra. En este sentido, la Huasteca 100 presentó los valores más altos en las etapas R1 y R3, superando a la media en 4.9 y 5.3%. La Huasteca 200 destacó únicamente en R4 con 8.3% más contenido de clorofila que la media. La Huasteca 300 mostró los mayores valores en R1, R2, R5 y R6, con incrementos de 4.9, 7.4, 5.2 y 3.8% sobre la media, respectivamente. En lo que se refiere a la Huasteca 400, aunque no sobresalió en una etapa reproductiva específica, presentó buen desempeño en R1, R5 y R6, superando la media en 1, 3.1 y 2.5%, respectivamente. La Huasteca 600 registró valores inferiores a la media en todas las etapas reproductivas, con reducciones que oscilaron entre 2.5 y 9%. Al respecto, variedades con reducido contenido de clorofila se han propuesto para mejorar la radiación interceptada en la biomasa, causando el incremento de rendimiento de cultivos densos (Slattery *et al.*, 2017). La Huasteca 700 en R3 y R4 logró superar la media en 1 y 4%. Tamesí destacó principalmente en R2 con 3.4% más contenido de clorofila en comparación a la media.

El comportamiento promedio del contenido de clorofila, medido en unidades SPAD, mostró un incremento progresivo de 0.3 a 4.5 unidades desde la etapa R1 hasta R5. A partir de R6, se observó una disminución de 1.8 unidades SPAD, lo que sugiere que las plantas de soya requieren una mayor concentración de clorofila durante el inicio de floración y desarrollo de vainas y granos. La disminución al final del ciclo reproductivo se asocia con la proximidad de la madurez fisiológica, momento en el que la actividad fotosintética comienza a declinar. Esto coincide con Gomes *et al.*, (2003) quienes mencionan que la clorofila disminuye conforme maduran las semillas de la etapa R6 a R7.

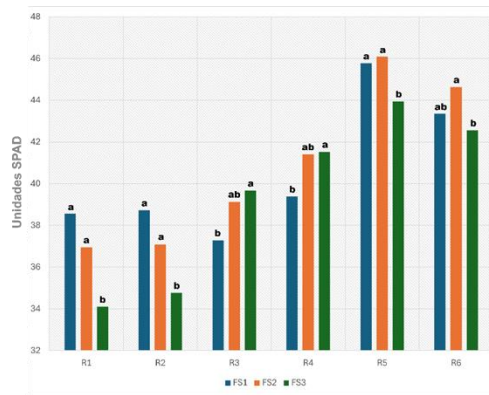


Figura 1. Contenido de clorofila de acuerdo a las fechas de siembra en etapas reproductivas de soya

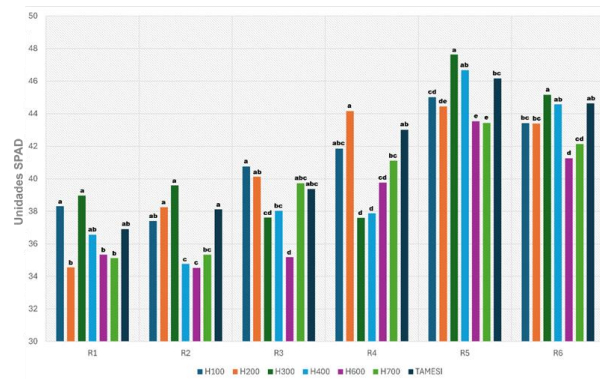


Figura 2. Contenido de clorofila de variedades de soya en etapas reproductivas

CONCLUSIÓN

Las fechas de siembra influyen en el contenido de clorofila durante las etapas reproductivas de la soya. En las etapas tempranas (R1 y R2), el contenido disminuyó con siembras tardías, mientras que en las etapas intermedias (R3 y R4) la tendencia se invirtió, observándose mayores valores con fechas más tardías. Durante el llenado de grano (R5 y R6), la segunda fecha de siembra presentó los valores más altos de clorofila. Con respecto a las variedades, se identificaron diferencias específicas, destacando Tamesí, Huasteca 100 y Huasteca 300 como las más eficientes en la acumulación de clorofila. Así mismo, hubo un incremento progresivo en el contenido de clorofila desde R1 hasta R5, seguido de una disminución a partir de R6.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

A los estudiantes del Instituto Tecnológico de Altamira y personal técnico del programa de Oleaginosas Anuales por su apoyo en el proceso de establecimiento y toma de datos. Fuente financiadora Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

LITERATURA CITADA

- Fritschi, F. B., & Ray, J. D. (2007). Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio. *Photosynthetica*, 45(1), 92–98.
- He, Y., & Matthews, M. L. (2023). Seasonal climate conditions impact the effectiveness of improving photosynthesis to increase soybean yield. *Field Crops Research*, 296, 108907.
- Latifinia, E., & Eivand, H. R. (2022). Soybean Physiological Properties and Grain Quality Responses to Nutrients, and Predicting Nutrient Deficiency Using Chlorophyll Fluorescence. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 1942–1954.
- Mathur, S., Seo, B., Jajoo, A., Reddy, K. R., & Reddy, V. R. (2023). Chlorophyll fluorescence is a potential indicator to measure photochemical efficiency in early to late soybean maturity groups under changing day lengths and temperatures. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1228464.
- Slattery, R. A., Vanloocke, A., Bernacchi, C. J., Zhu, X. G., & Ort, D. R. (2017). Photosynthesis, light use efficiency, and yield of reduced-chlorophyll soybean mutants in field conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 238568.
- Vollmann, J., Walter, H., Sato, T., & Schweiger, P. (2011). Digital image analysis and chlorophyll metering for phenotyping the effects of nodulation in soybean. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(1), 190–195.

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y FISIOLÓGICO DE AJO JASPEADO (*ALLIUM SATIVUM* L.) CULTIVADO BAJO RIEGO DEFICITARIO

Juan Carlos Torres-Cruz¹, Eleazar Lugo-Cruz^{1*}, Francisco Zavala-García¹, Rafael Ruíz-Hernández²,
Jesús Rafael Obregón-Medina¹

¹Facultad de Agronomía, Unidad La Ascensión, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Sandia - La Ascensión, km 2.5. La Ascensión, Aramberri, Nuevo León, México. CP 67950

²Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Carretera Xalapa – Veracruz, Km. 88.5, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. CP 91690

*Autor de correspondencia: eleazar.lugocr@uanl.edu.mx

PALABRAS CLAVE: Intercambio de gases, ORDI, régimen hídrico.

INTRODUCCIÓN

El ajo es reconocido a nivel mundial por su alto valor económico, por su importancia como condimento en la cocina y por sus beneficios terapéuticos (Tesfaye, 2021). En el planeta se producen anualmente 29.1 millones de toneladas de este producto en un área de 1.6 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2022). México se ubica como el noveno exportador de ajo, el cual es una de las hortalizas más rentables del país, siendo el ajo morado uno de los más preferidos por los productores (SADER, 2021). En el país se siembran 7,914 hectáreas con ajo, de las cuales, el 98 % se producen bajo condiciones de riego (SIAP, 2024). La disponibilidad del agua dulce está disminuyendo debido al cambio climático y al aumento de la población, por ello, es necesario optimizar su consumo en todas las actividades humanas, en particular, en la agricultura, que es responsable de casi el 70 % del volumen extraído, y, por lo tanto, es el sector que más agua consume (Ingrao et al., 2023). Además, la agricultura de riego tendrá que adaptarse a operar con niveles de agua limitados, pues se estima que la demanda mundial de agua aumente entre 20 y 25 % para 2050, asimismo, aumentará la competencia y uso de los recursos hídricos a más del 60 % en la agricultura de riego (Sugg et al., 2023). En este contexto, el riego deficitario controlado optimizado (ORDI) destaca como una herramienta clave que permite aumentar la eficiencia en el uso del agua sin perjudicar el rendimiento, el cual consiste en aplicar cantidades de agua por debajo de las necesidades totales de riego del cultivo (Teshome et al., 2023).

OBJETIVO

Analizar el efecto del riego deficitario controlado sobre el comportamiento agro-fisiológico de dos variedades de ajo jaspeado cultivadas bajo dos densidades de población.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante el ciclo OI-2024/2025, en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (99° 56' 42.7" W y 24° 19' 17.4" N, 1974 msnm), en donde se presenta un clima templado subhúmedo (CONAGUA, 2025). El manejo agronómico del cultivo se realizó con base en las recomendaciones de Reveles-Hernández et al. (2009). Para la fertilización se usó la fórmula 106N–30P–82K, calculada según el análisis de fertilidad del suelo y agua. A partir de los 60 dds, cada 30 días se midió la biomasa seca total de la planta después de secar las muestras a 70 °C hasta peso constante en un horno de convección forzada (Riossa, modelo HCFD-82, México). Además, se midió la tasa de fotosíntesis neta (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y transpiración (Tr , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en la hoja madura más joven, usando el analizador de gases en el infrarrojo Li-4600 (LI-COR, Nebraska, USA), entre las 11:00 y 13:00 h durante el inicio de diferenciación de bulbo (169 dds). Al momento de la cosecha se registró el rendimiento de bulbos expresado en t ha^{-1} . En la cual se pesó el contenido de ajos en un metro cuadrado y posteriormente se multiplico por 10000m2, para calcular el rendimiento por ha.

Diseño experimental: Se evaluaron 12 tratamientos, los cuales se formaron por la combinación de tres regímenes de humedad edáfica aplicados durante todo el ciclo del cultivo (T100, T80 y T60 = un riego semanal hasta 100, 80 y 60 % de la humedad aprovechable, respectivamente), dos densidades de siembra (305,000 y 457,500 bulbillos ha^{-1} sembrados a dos y tres hileras por surco, respectivamente) y dos genotipos de ajo morado tipo jaspeado (San Fermín y Tigre). Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo en parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. El régimen hídrico representó la parcela principal, la densidad de siembra representó a la subparcela y la sub-subparcela estuvo representada por el genotipo. Cada unidad experimental consistió en cuatro surcos de 0.82 m de ancho por 4 m de largo.

Análisis estadístico de los datos: Se hicieron análisis de varianza para cada variable usando el software InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020). La comparación de medias de factores principales e interacciones se llevó a cabo con la prueba Tukey ($p < 0.05$).

RESULTADOS

El régimen hídrico fue el factor que afectó el intercambio de gases foliar al inicio de la diferenciación de bulbos, aunque, el genotipo también mostró efecto significativo sobre la tasa instantánea de fotosíntesis neta. El genotipo Fermín mostró mayor tasa de fotosíntesis ($4.85 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) comparado con la variedad Tigre ($3.96 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), mientras que, la mayor tasa de fotosíntesis se encontró en el tratamiento con riegos hasta 100 % de la humedad aprovechable, seguido del tratamiento T80 y T60 (Figura 1-A). Por su parte, las tasas de conductancia estomática y de transpiración fueron iguales entre los tratamientos con riegos a 100 y 80 % de humedad

aprovechable (Figura 1-B y C), por el contrario, con el tratamiento T60 estas variables disminuyeron significativamente comparadas con el tratamiento T100.

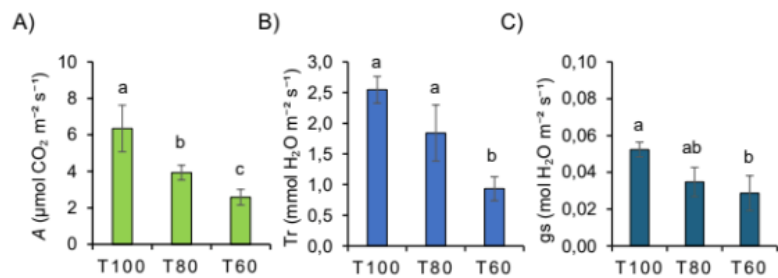


Figura 1. Tasa instantanea de fotosíntesis neta (A), transpiración (B) y conductancia estomática (C) en ajo jaspeado cultivado bajo tres niveles de riego deficitario (T100, T80 y T60) en dos variedades de ajo jaspedado.

Crecimiento en biomasa seca

El nivel de humedad fue también el factor de variación que mayormente afectó la producción de biomasa seca total de la planta, pues su efecto fue significativo en todos los momentos de medición a lo largo del ciclo (Figura 2-A). El tratamiento con riegos al 100 % de humedad aprovechable (T100) fue en dónde las plantas produjeron mayor cantidad de biomasa seca, y este crecimiento fue igual que el tratamiento T80 para los primeros 90 dds. Por el contrario, con riegos al 60 % de la humedad aprovechable (T60), la biomasa seca fue menor que el T100 en todos los momentos de medición.

Por su parte, la biomasa seca también fue diferente entre densidades de población en las etapas finales del ciclo (Figura 2-B), que corresponden al periodo de formación y llenado del bulbo (180 y 201 dds), pues con la densidad baja (H2, 305,000 plantas ha⁻¹) el crecimiento en biomasa seca fue de entre 15.7 y 11.3 % mayor que en la densidad alta (H3, 457,500 plantas ha⁻¹).

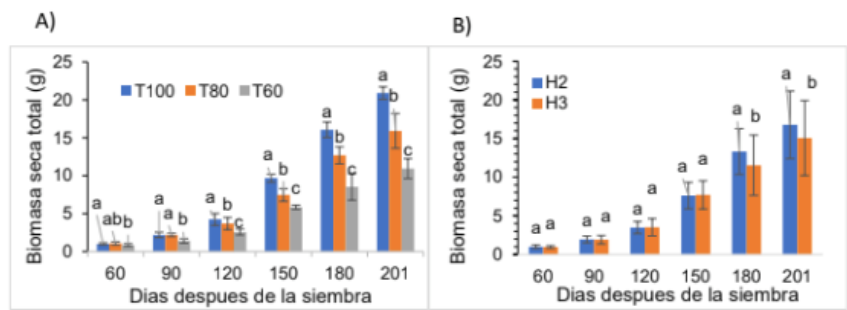


Figura 2. Dinámica de la biomasa seca total de la planta según el nivel de humedad edáfica (A) y la densidad de población (B) en dos variedades de ajo jaspeado.

Rendimiento de bulbos

El rendimiento de bulbos no mostró diferencias cuando se disminuyó el riego hasta 80 % de humedad aprovechable, pero si fue menor con el tratamiento T60. Además, se encontró un efecto combinado del nivel de humedad y densidad de población sobre el rendimiento de bulbos (Figura 3-B). La mejor combinación fue del nivel de riego hasta 100 % de humedad aprovechable y la densidad alta, por lo que, aumentar la densidad de plantas fue beneficioso en condiciones de riego normal, sin embargo, al aplicar riego deficitario el rendimiento disminuyó en un 23.5 y 35.6 % para los tratamientos T80 y T60, respectivamente. Esto se debe a que bajo condiciones limitantes de agua usar densidad alta aumenta la competencia por el recurso, y menor cantidad de agua provoco un desequilibrio fisiológico en la planta lo que repercute en el rendimiento final.

A diferencia de lo anterior, con la densidad baja (H2, 305,000 plantas ha^{-1}) la disminución en la cantidad de riego al 80 % de la humedad aprovechable no afectó el rendimiento, lo que indicó que el riego deficitario controlado es una estrategia prometedora para las dos variedades estudiadas cuando se cultivan a dos hileras con densidad de 305,000 plantas ha^{-1} .

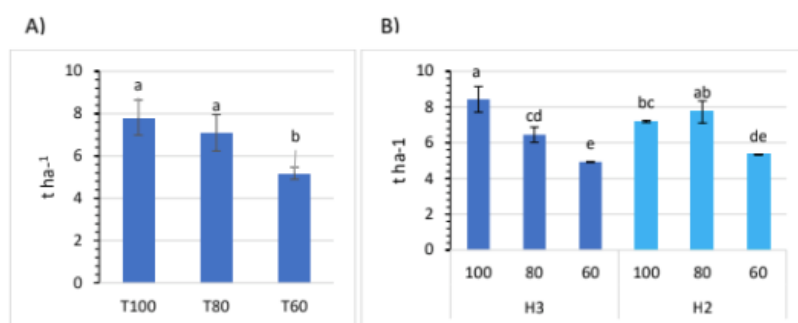


Figura 3. Rendimiento de bulbos, según el nivel de humedad edáfica (A) y la interacción entre humedad y densidad de población (B) en dos variedades de ajo jaspeado.

CONCLUSIÓN

Disminuir la cantidad de agua aplicada de 100 % a 80 o 60 % de humedad aprovechable disminuyó las variables de intercambio de gases y el crecimiento en biomasa seca del cultivo, esto independientemente de las variedades y densidades estudiadas. A pesar de ello, el rendimiento de bulbos no fue afectado al reducir el riego al 80 % de la humedad aprovechable sólo bajo densidad baja (305,000 plantas ha^{-1}), lo que resalta la importancia de la densidad de plantas para el éxito del riego deficitario controlado en ajo, y, además, sugiere que el riego deficitario controlado puede ser una estrategia para usar y aumentar la eficiencia en el uso del agua del ajo jaspeado bajo las condiciones de estudio.

LITERATURA CITADA

FAOSTAT (2022). Datos sobre alimentación y agricultura. Recuperado el 28 de octubre del 2024.
<https://www.fao.org/faostat/es/#data>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2024). Avance agrícola. Disponible en:
https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/.

EFFECTO DEL SILICIO SOBRE LA PERDIDA DE K^+ EN RESPUESTA AL ESTRÉS SALINO EN RAÍCES DE CEBADA, TRIGO Y TRITICALE

Hugo Alberto Martínez-Tozcano¹, Cesar Leobardo Aguirre-Mancilla², Juan Gabriel Ramírez Pimientel², Ahuizolt de Jesús Joaquín Ramos², Manuel Martínez-Estévez³ e Isaac Zepeda-Jazo¹ y Luis Enrique Flores-Pantoja^{1,2*}

¹Licenciatura en Genómica Alimentaria, Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo. Avenida Universidad 3000, Col. Lomas de la Universidad, C.P. 59103.

²Doctorado en Ciencias en Producción Agroalimentaria, Tecnológico Nacional de México-Roque. Carretera Celaya-Juventino Rosas, Km.8, C.P. 38110.

³Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34 Chuburná de Hidalgo. CP 97205.

*Autor de correspondencia: leflores@ucemich.edu.mx

RESUMEN

La salinidad del suelo es uno de los factores abióticos que más limita el crecimiento y desarrollo de los cultivos a nivel global. Uno de sus efectos perjudiciales es la pérdida de potasio (K^+), un ion esencial para múltiples funciones fisiológicas. El silicio es considerado un elemento benéfico para las plantas bajo estrés salino, y se ha reportado que mejora la absorción de K^+ por las raíces; sin embargo, sus mecanismos de acción aún no se comprenden completamente. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del silicio sobre la pérdida de K^+ inducida por salinidad en raíces de plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* var. Esperanza y Prunella), trigo (*Triticum aestivum* var. Valles) y triticale ($\times$ *Triticosecale* var. Bicentenario). Las semillas se germinaron en hidroponía (0.5 mM KCl, 0.1 mM $CaCl_2$, pH 5.7) con 0, 1 y 2 mM de Na_2SiO_3 . A los cuatro días, las raíces de tres plántulas se incubaron en 10 mL de NaCl 100 mM durante 2 h. Posteriormente se secaron, cortaron y pesaron; el K^+ liberado fue cuantificado por fotometría de llama. Se observó mayor pérdida de K^+ en la variedad Esperanza, inhibición en la variedad Valles y ausencia de efecto en las variedades Prunella y Bicentenario. Estos resultados sugieren que el silicio modula el transporte de K^+ bajo estrés salino, su efecto es dependiente de la dosis de silicio y la variedad vegetal.

MICROCLIMA Y FISIOLÓGÍA DEL CACAO BAJO DOS NIVELES DE DIVERSIDAD ARBÓREA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DURANTE LA SEQUÍA EN TABASCO, MÉXICO

Roberto Alexander Fisher-Ortíz¹, Manuel Jesús Cach-Pérez^{2*}, Ulises Rodríguez-Robles³, Pablo Martínez-Zurimendi², Jorge Mendoza-Vega⁴, María Guadalupe Carrillo-Galván⁵

¹Programa de Doctorado en Ecología y Desarrollo Sustentable, El Colegio de la Frontera Sur – Unidad Villahermosa. Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n Ra, Guineo 2da. Sección, Centro, Tabasco, CP. 86280.

²El Colegio de la Frontera Sur – Unidad Villahermosa. Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n Ra, Guineo 2da. Sección, Centro, Tabasco, CP. 86280.

³Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Avenida Independencia Nacional 151, Centro, Autlán de Navarro, Jalisco, CP. 48900

⁴El Colegio de la Frontera Sur – Unidad Campeche, Avenida Rancho Polígono 2-A, Ciudad Industrial Lerma, Campeche, Campeche, México, CP. 24500.

⁵CIAD-Centro de Estudios e Investigación en Biocultura, Agroecología, Ambiente y Salud. Ex-hacienda Nogueras, Comala, Colima.

*Autor de correspondencia: mcach@ecosur.mx

RESUMEN

Las plantas de cacao son muy vulnerables a la sequía. Su incorporación a sistemas agroforestales (SAF) permite que se desarrollen en microclimas menos estresantes que los monocultivos; teóricamente la diversidad de los SAF podría influir sobre el microclima y desempeño fisiológico del cacao. Se analizaron los cambios en el microclima y respuesta fisiológica a la sequía de plantas de cacao bajo SAF con alta diversidad (AD) y baja diversidad (BD). Se caracterizó la temperatura (TAire) y humedad del aire (HRAire), déficit de presión de vapor (DPV), contenido de agua (CAsuelo) y temperatura del suelo (Tsuelo) y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) bajo cada condición de diversidad, por triplicado. Al mismo tiempo, se caracterizó la transpiración, conductancia estomática y fluorescencia de la clorofila en época de sequía. En el momento de mayor estrés del día (1-2 pm) la Tsuelo, HRAire y CAsuelo fue mayor en BD respecto a AB. La TAire y el DPV fue mayor en AD respecto a BD. Los mayores valores de conductancia estomática fueron a las 6 am, siendo de $156.8 \pm 38.3 \text{ mmol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en BD, y $108.8 \pm 15.1 \text{ mmol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en AD. Hubo una mayor transpiración en plantas de cacao en BD que en AD, ligado a una mayor conductancia estomática en todas las mediciones. No hubo diferencias en ningún parámetro de fluorescencia. Contrario a lo esperado, la mayor diversidad generó un microclima más estresante para las plantas de cacao. Esto podría deberse al efecto de las densidades y rasgos funcionales de los árboles.

EFFECTO DE LA SEQUÍA EN LA NODULACIÓN DE LA RAÍZ DEL FRIJOL

Ramón Díaz Ruiz^{1*}, Elizabeth Alejandra Sánchez Meza¹, Violeta Alvarez Quiroz¹, Efraín Pérez Ramírez¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Boulevard Forjadores de la Puebla No. 205. Santiago Momoxpan, Municipio de San Pedro Cholula, C.P. 72760, Puebla, México.

RESUMEN

Entre los factores adversos que más daño causan al cultivo de frijol esta la sequía, este fenómeno meteorológico se presenta acentuadamente en las áreas de temporal del país. Los daños causados en la planta se reflejan de manera clara en el vástago, sin embargo, no se ha visto la magnitud del daño en el sistema radical. El objetivo de la investigación fue evaluar el daño en los nódulos de las raíces del frijol bajo diferentes periodos de sequía en invernadero. La variedad Negrito CP fue sembrada en macetas de plástico a 3 cm de profundidad, se tuvieron dos lotes de macetas, uno bajo riego y otro sometido a sequía. A una muestra de tres plantas tomadas de cada lote se le realizó el conteo de nódulos a los 10, 20, 30, 40 y 50 días con sequía. La raíz se dividió en región superior pegada tallo, región central y región inferior que incluyó la cofia, en las cuales se contaron los nódulos. Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS realizando un análisis de varianza y la prueba Tukey. Se encontraron diferencias estadísticas significativas para los periodos de sequía, estado hídrico y la interacción entre el estado hídrico y los tratamientos de sequía. Los tratamientos con riego tuvieron mayor cantidad de nódulos totales. Se observó una reducción inmediata en el número de nódulos totales a los 10 y 20 días tendiendo a disminuir.

EL SISTEMA MILPA DEL SURESTE DE MÉXICO COMO ALTERNATIVA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: EVIDENCIAS MICROCLIMÁTICAS Y ECOFISIOLÓGICAS

Manuel Jesús Cach Pérez^{1*}, Rosa G. Pérez Hernández², Andrés A. Mares Guerrero¹

¹El Colegio de la Frontera Sur. Carr. A Reforma km 15.5 s/n Ra. Guionero 2ª Sección. C.P. 86280. Villahermosa, Tabasco.

²Investigadora independiente

*Autor de correspondencia: mcach@ecosur.mx

RESUMEN

La mayor parte de los alimentos consumidos a nivel mundial son producidos por pequeños productores a través de agricultura de temporal, práctica altamente vulnerable al cambio climático, particularmente por el incremento de la temperatura y variabilidad en la temporalidad y cantidad de precipitación, lo que pone en riesgo la producción de alimentos en unidades de producción familiar cuyo primer objetivo es el autoconsumo. Entre las alternativas productivas frente a este escenario el sistema milpa. Dado lo anterior, se caracterizó el microclima del área de cultivo, fisiología y producción de maíz bajo diferentes manejos (monocultivos y Milpa) bajo condiciones edáficas y de precipitación contrastantes del sureste de México. Se encontró que el microclima es más estable en la Milpa (menor temperatura, mayor cantidad y estabilidad en la disponibilidad de agua en suelo), en comparación con el monocultivo. El desempeño fisiológico del maíz fue superior en la Milpa y sistema agroforestal en comparación con el monocultivo. Si bien, bajo ciertas condiciones edáficas (suelos profundos con poca pedregosidad) en zonas secas, la producción de maíz puede ser similar entre manejos, la mayor diversidad de alimentos obtenida en una misma superficie de terreno, así como la economía de recursos como el agua, hacen de la milpa un sistema de producción ideal para hacer frente a la variabilidad climática. Esta práctica puede contribuir a la sustentabilidad alimentaria y productiva de productores rurales que carece de recursos económicos, y cuya fuente principal de alimentos es la autoproducción.

FISIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS VEGETALES

EFFECTO DEL FOTOPERIODO EN LA CALLOGÉNESIS DE EXPLANTES INTERNODALES Y FOLIARES DE *SOLANUM TUBEROSUM* L. VARIEDAD CITLALI

Diana Yatzil Reyes-Araujo¹, Martha Elena Mora-Herrera^{2*}, Ebandro Uscanga-Mortera¹, Carlos Trejo¹, Humberto Antonio López-Delgado³ y José Rodolfo García-Nava¹

¹Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. ²Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal, Centro Universitario Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México, Tenancingo, México. ³Laboratorio de Fisiología y Biotecnología. Programa de Papa INIFAP. Conjunto SEDAGRO Metepec, Estado de México.

Autor de correspondencia: marthaelenam@gmail.com

PALABRAS CLAVE: Organogénesis, friabilidad, reguladores del crecimiento.

INTRODUCCION

El Objetivo de Desarrollo Sostenible “Hambre cero” (ODS 2) y el *PLAN NACIONAL DE DESARROLLO (PND)* 2025-2030, integran sus principios para impulsar las políticas como la autosuficiencia, inclusión productiva, soberanía alimentaria y transición agroecológica (Gobierno de México, 2024), y la papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo estratégico para contribuir con estos objetivos. Por su alto aporte energético, su contenido nutricional y su adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas, actualmente la papa constituye una fuente básica de alimento para millones de personas en el mundo (INIFAP, 2023).

En México, el Programa Nacional de Papa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), tiene como objetivo mejorar las características agronómicas del cultivo, como la resistencia a plagas y enfermedades, la adaptación a variantes agroclimáticas y una productividad mayor. Una de las variedades mejoradas desarrolladas por este programa es Citlali, que destaca por el color rojizo de sus tallos y tubérculos, resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestan*) y a la punta morada; una de las enfermedades más importantes y complejas presente en México (Rubio *et al.*, 2017).

Uno de los métodos para obtener masivamente material vegetal es el cultivo de tejidos vegetales, que además es una herramienta fundamental en los programas de mejoramiento a través de la organogénesis indirecta por callogénesis. Este último, al implicar el cultivo de células somáticas, pueden inducir inestabilidad cromosómica y generar variación somaclonal. Dicha variación está influenciada por diversos factores, como el genotipo de la planta, la fuente de los explantes, la edad de la planta donante, balance de reguladores del crecimiento y las condiciones del cultivo *in vitro* (Jain, 2001).

Aunque en el cultivo *in vitro* las condiciones ambientales, como la temperatura, la intensidad luminosa y el fotoperiodo, están controladas; diversos estudios han demostrado que el fotoperiodo

es un factor determinante en el crecimiento y morfogénesis de los tejidos cultivados (Kurilčik *et al.*, 2008).

OBJETIVO

Evaluar el efecto del fotoperiodo en la callogénesis de explantes internodales y foliares de *Solanum tuberosum* L. variedad Citlali.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal del Centro Universitario UAEM Tenancingo, Estado de México. Se emplearon microplantas de la variedad Citlali (mexicana) libres de virus proporcionados por el Laboratorio de Fisiología-Biotecnología del Programa Nacional de Papa INIFAP. Para la inducción de callo se utilizó medio de cultivo MS (Murashige y Skoog) suplementado con ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D; auxina) y 6 bencilaminopurina (BAP; citocinina); 3.0/1.0 mg/L (2,4-D/BAP) para los explantes foliares y 2.5/0.5mg/L (2,4-D/BAP) para los explantes internodales. Los explantes fueron cultivados en dos condiciones de luz: fotoperiodo de 16 y 0 h, ambos a una temperatura de 20 ± 1 °C.

Diseño experimental

Los tratamientos (16 y 0 h Luz) se distribuyeron en un diseño completamente al azar, con 3 repeticiones por tratamiento con 15 explantes de cada tipo. A los 60 días de cultivo se realizó una evaluación cualitativa del color y textura (friabilidad o no friabilidad); se determinó el porcentaje de inducción de callos [PIC = (número de explantes que se inducen a callo/ número total de explantes cultivados) $\times$ 100]; y la producción de callo a partir del peso fresco (g), estos fueron pesados en una balanza analítica inmediatamente después de ser retirados del tubo de ensayo.

Análisis estadístico de los datos

Para evaluar la respuesta del fotoperiodo en la inducción de callos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), y una comparación de medias Tukey, con un nivel de confianza de 95%, utilizando el software estadístico Infostat versión 2008.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados demuestran una respuesta diferencial en la inducción de callo, determinado por el tipo de explante y el fotoperiodo aplicado durante la fase de la callogénesis. Con respecto a la textura, los explantes expuestos a un fotoperiodo 16 h luz, desarrollaron callos no friables (compactos); en contraste, aquellos mantenidos en completa oscuridad produjeron callos con textura friables (Figura 1A). Esta diferencia es relevante, ya que, según Neumann *et al.* (2020), la textura del callo ya sea friable (masa suave y heterogénea de células que se pueden separar

fácilmente) o una compacta (estructura dura y compuesta de grandes células estrechamente conectadas entre sí); influye directamente en el proceso de regeneración para fines de organogénesis, proceso que está mediado principalmente por el equilibrio entre los reguladores del crecimiento.

Con respecto al color, los callos originados a partir de explantes mantenidos en fotoperiodo de 16 h presentaron inicialmente una coloración verde, que se tornó a morado intenso conforme avanzó el desarrollo. En contraste los explantes cultivados en completa oscuridad, de coloración inicial también verde, adquirieron un tono blanquecino al finalizar la callogénesis (Figura 1B). Estas diferencias están directamente asociadas al fotoperiodo, debido a que la luz influye directamente en el crecimiento, la producción de clorofila y el contenido de metabolitos en tejidos *in vitro* (Kumar *et al.*, 2020).

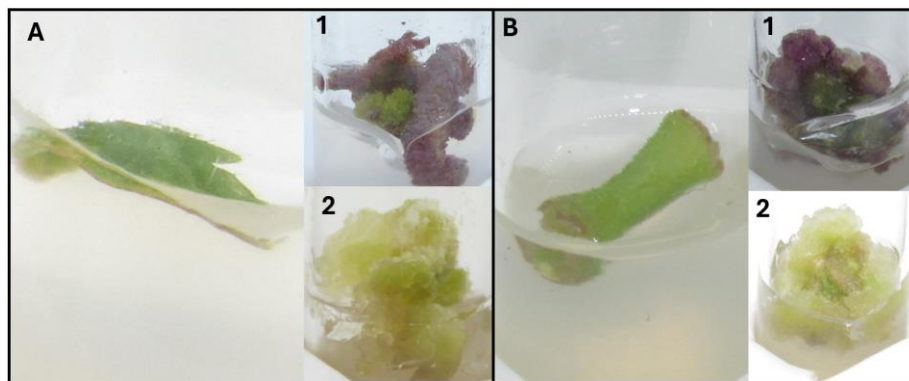


Figura 1. Explantes foliares (A) e internodales (B) a los 0 d de la callogénesis y a los 60 días en fotoperiodo 16 h (1) y en completa oscuridad (2).

En ambos tipos de explantes se logró una formación de callo del 100%. Estos resultados respaldan la efectividad del equilibrio de reguladores del crecimiento empleados, en particular del 2,4-D con la concentración empleada para cada tipo de explante (Figura 1). Según George *et al.* (2008); el 2,4-D desempeña una función central en la inducción de la proliferación celular y la generación de tejido indiferenciado.

Respecto al peso fresco, los callos desarrollados a partir de explantes mantenidos en fotoperiodo 16 h fue mayor, en comparación con aquellos que se cultivaron en oscuridad (Figura 2). Estas diferencias evidencian una respuesta diferencial en la callogénesis aun tratándose de material genético homogéneo. Lo anterior refuerza lo plantea por Kumar *et al.* (2020) sobre la fuerte influencia de la luz sobre los procesos morfogénicos *in vitro*.

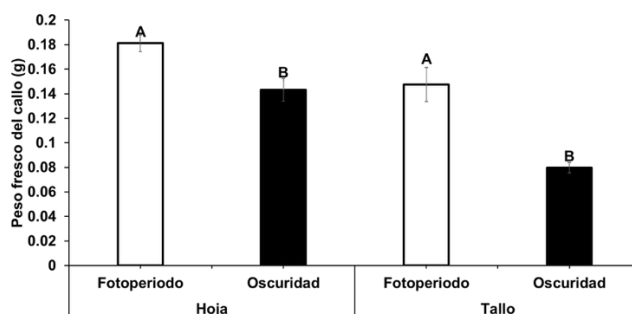


Figura 2. Peso fresco de los callos a los 60 días provenientes de explantes de papa de la variedad citlali mantenidos en fotoperiodo 16 h y completa oscuridad. las barras indican el promedio de tres repeticiones por tratamiento $\pm$ e.e. (n = 45).

CONCLUSIÓN

El fotoperiodo de 16 h de luz aplicado a explantes internodales y foliares de microplantas de papa favorecen la formación de callos no friables y de mayor tamaño, características importantes para el desarrollo de procesos morfogénicos eficientes.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Al SECIHTI por la Beca Nacional para Estudios de Posgrado, al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, al Centro Universitario UAEMex Tenancingo y al INIFAP sitio experimental Metepec.

LITERATURA CITADA

- George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G.-J. (2008). Plant propagation by tissue culture (3rd ed.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-5005-3>
- Gobierno de México. (2024). Programa Nacional de Semillas 2024–2030. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/documentos/programa-nacional-de-semillas-2024-2030>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2023). SEGOB | 09 de marzo de 2023. Variedades de papa con tolerancia a enfermedades (Consultado 9 de abril 2025). Recuperado de: <https://www.gob.mx/inifap/articulos/variedades-de-papa-con-tolerancia-a-enfermedades?idiom=es>
- Jain, S. M. (2001). Tissue culture-derived variation in crop improvement. *Euphytica*, 118, 153-166.
- Kumar, S.S., Arya, M., Mahadevappa, P., & Giridhar, P. (2020). Influence of photoperiod on growth, bioactive compounds and antioxidant activity in callus cultures of *Basella rubra* L. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 209, 111937. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111937>

-
- Kurilčik, A., Dapkūnienė, S., Kurilčik, G., Žilinskaitė, S., Žukauskas, A., & Duchovskis, P. (2008). Effect of the photoperiod duration on the growth of Chrysanthemum plantlets *in vitro*. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20123300080>.
- Neumann, K.H., Kumar, A., & Imani, J. (2020). Callus Cultures. In: Plant Cell and Tissue Culture – A Tool in Biotechnology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49098-0_3
- Rubio, C.O.A. 2017. Citlali, Variedad de papa tolerante a punta morada. Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGAR). Sitio Experimental Metepec-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Zinacantepec, Estado de México. Folleto técnico núm. 3. 28 p.

RESPUESTA MORFOGÉNICA DE EXPLANTES FOLIARES Y NODALES DE *Solanum tuberosum* L. EN DIFERENTES MEDIOS DE CULTIVO

Myriam Gutierrez Sanchez^{1,2}, Humberto Antonio López Delgado^{1*}, Dariana Itzel Rico Aviles^{1,2},
Ricardo Martínez Gutierrez¹

¹Laboratorio de Fisiología-Biotecnología. Programa Nacional de Papa, INIFAP, Conjunto SECAM, Metepec, Edo. de México, C.P. 52140.

²Universidad Politécnica del Valle de Toluca. Carretera Toluca-Almoloya de Juárez km. 5.6 Santiaguito Tlalcilcali, Edo. de México C.P. 50904.

Autor de correspondencia: lopez.humberto@inifap.gob.mx

PALABRAS CLAVE: regeneración, brote, *in vitro*

INTRODUCCIÓN

La biotecnología vegetal es una herramienta esencial para producir semilla sana de papa, optimizando procesos de cultivo *in vitro* mediante el uso de diversos explantes. La inducción de callos es una etapa crítica, ya que permite regenerar plantas completas y obtener variación somaclonal. La eficiencia de este proceso depende del explante, genotipo, condiciones ambientales y, sobre todo, de la composición del medio de cultivo, especialmente el balance de reguladores del crecimiento.

En los últimos años, se ha identificado que además de los reguladores de crecimiento el equilibrio de especies reactivas de oxígeno (ROS) desempeñan un papel importante en el mantenimiento del crecimiento normal de las plantas y en la mejora de su tolerancia al estrés. (Huang et al., 2019). Se consideran subproductos del metabolismo aeróbico de las plantas y se generan en varios compartimentos celulares, como los cloroplastos (Dietz et al., 2016). Estas moléculas actúan como señales que regulan la proliferación y diferenciación celular durante la regeneración *in vitro*. En este proceso, las enzimas antioxidantes como catalasa (CAT) y peroxidasa (POX) cumplen un rol clave, ya que modulan los niveles de ROS evitando su acumulación excesiva (lo cual causa daño celular) manteniéndose en concentraciones óptimas que pueden usarse como segundos mensajeros que participan en el mantenimiento de las células madre, la división celular, la diferenciación, la organogénesis y las respuestas bióticas y abióticas (Dietz et al., 2016).

La regeneración *in vitro* a partir de callo se logra mediante organogénesis (directa o indirecta) o embriogénesis somática. Aunque esta última permite la regeneración completa de plantas, es un proceso más lento y con mayor riesgo de variación somaclonal.

OBJETIVOS

Evaluar la respuesta morfogénica in vitro de explantes foliares y de entrenudos del genotipo 5-10 (Citlali) de *Solanum tuberosum* L. en distintos medios de cultivo, así como la evaluación de la actividad enzimática de CAT y POX en brotes obtenidos por organogénesis respecto a la planta madre no sometida a organogénesis a partir de segmentos foliares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon segmentos de entrenudo de la variedad Citlali, realizando corte transversal de 3-5 mm de longitud. Cada tratamiento tuvo 20 explantes provenientes del banco de germoplasma in vitro del INIFAP y cultivados durante tres semanas en medio Murashige y Skoog basal (MS, 1962), para inducir una respuesta morfogénica indirecta mediante la formación de callo. Se utilizaron dos medios de cultivo: el medio 1 (1E) contenía 2.0 mg/L de 6-bencilaminopurina (BAP), 0.2 mg/L de kinetina, 2.0 mg/L de 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D), 0.5 mg/L de ácido naftalenoacético (ANA) y 0.2 mg/L de ácido giberélico (GA₃) (Majeed et al., 2024); mientras que el medio 2 (2E) se suplementó solo con 3.0 mg/L de BAP y 2.0 mg/L de ANA (Kumlay & Ercisli, 2015).

Para inducir una respuesta morfogénica directa en segmentos foliares de la variedad realizando cortes basal y distal de hojas jóvenes para obtener explantes en forma de cuadrícula, se utilizaron dos medios de cultivo Murashige y Skoog (MS) suplementados con diferentes fitohormonas. El medio 1 (1H) contenía 2.0 mg/L de 2,4-D y 0.5 mg/L de kinetina (Abu Zeid et al., 2022), mientras que el medio 2 (2H) contenía 5.2 mg/L de GA₃ y 2.25 mg/L de BAP (Kaur et al., 2017).

La actividad enzimática de CAT se determinó en tejido de hoja, de acuerdo al método Aebi (1984), la cual consistió en moler tejido vegetal en 50 mM de fosfato de potasio pH 7.2, 5 mM DTT, 1 mM EDTA, 2% PVP (1 ml. 0.25 g peso fresco), se centrifugó a 3000 g por 15 min. La reacción se leyó a 240 nanómetros por 3 min cada 20 s con un medio de reacción. La actividad enzimática se calculó por el coeficiente de absortividad 39.4 mm³ cm³.

La cuantificación de la actividad enzimática de POX por espectrofotometría se realizó de acuerdo al método descrito por Mora Herrera y López-Delgado (2007). La extracción de proteína se realizó de la manera anteriormente descrita para CAT (Anderson et al., 1995). La actividad enzimática de la POX se midió en la mezcla de reacción con amortiguador de fosfato de sodio 50 mM pH 7.0, 3.33 mM de guaiacol 4 mM de H₂O₂ y 0.020 ml de la muestra en un volumen final de 3 ml. La reacción se inició con la adición de la muestra a 25-28 °C. El blanco consistió en el amortiguador de reacción sin extracto de proteína. La oxidación del sustrato (guaiacol) se determinó por el incremento en la absorbancia a 470 nm durante 3 minutos en intervalos de 30s. Para medir la actividad de POX se usó el coeficiente de absortividad del guaiacol c-20 mmol mm.

Diseño experimental

Se utilizaron cinco frascos por cada medio de cultivo divididos en cuatro secciones. Cada sección contenía un explante, resultando en un total de 20 explantes por medio de cultivo por experimento. En total, se utilizaron 60 explantes para cada uno de los medios de cultivo considerando los 3 experimentos. Dichos explantes se incubaron con condiciones controladas con un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 horas oscuridad a 20 °C teniendo el experimento una duración de aproximadamente 45 a 60 días de monitoreo para una respuesta morfogénica indirecta y directa.

Análisis estadístico de los datos

Los resultados se analizaron por análisis de varianza y la prueba de significancia de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación entre ambos medios permitió evaluar la eficiencia de distintas combinaciones de reguladores de crecimiento, el tipo de explante y su efecto sobre la callogénesis a partir de explantes entrenudos y foliares de *Solanum tuberosum*.

Tras 10 semanas de cultivo, se logró la regeneración de brotes a partir de explantes foliares del genotipo 5-10 de *Solanum tuberosum* L. únicamente en el medio 2. La respuesta morfogénica de los explantes fue cuantificada, evidenciando la formación de brotes bajo estas condiciones. En contraste, no se observó formación de brotes en ninguno de los demás tratamientos evaluados (Figura 4). Los datos detallados de este proceso, que reflejan la respuesta cuantitativa de los explantes, se presentan en el Cuadro 1.

La Figura 1 muestra que el medio 2 promovió un mayor porcentaje de formación de callos en ambos tipos de explantes en comparación con el medio 1 y el testigo. Cabe mencionar que el medio 2 (2H) fue diseñado con una formulación más exacta para lograr una organogénesis directa a partir de exfoliares, lo que ofreció un 25 % de brotes generados en comparación al medio 1 (1H) el cual, solo generó un porcentaje de callos muy bajo del 18%.

Para explantes de entrenudo donde el tratamiento con BAP y ANA indujo a una respuesta más favorable en la formación de callos con un 87% no se logró una organogénesis directa usando dichos reguladores de crecimiento (Cuadro 1). Estos hallazgos sugieren que la respuesta de los callos de entrenudo está influenciada por la variedad utilizada, la concentración de los reguladores de crecimiento y el tiempo transcurrido de dicho experimento.

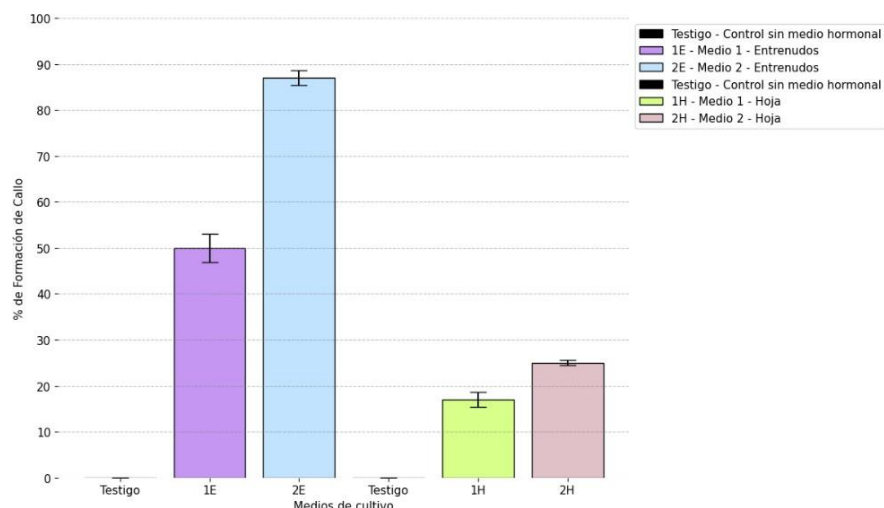


Figura 1. Formación de callos en *Solanum tuberosum* L. a partir de explantes foliares y de entrenudos cultivados en dos medios con diferentes combinaciones de reguladores de crecimiento (M1 y M2) y testigo. Cada barra representa el promedio de 3 repeticiones para cada tipo de explante ± E.E.

Cuadro 1. Número de brotes obtenidos por organogénesis directa a partir de explantes foliares con 3 repeticiones por tratamiento.

Fuentes de explantes	Medio	Reguladores del crecimiento vegetal (mg L ⁻¹)					Número promedio de brotes
		BAP	KIN	NAA	GA3	2,4-D	
Entrenudo	Testigo	Medio MS					0
	1	0.6	0.06	0.06	0.06	0.6	0
	2	0.9	-	0.6	-	-	0
Hoja	Testigo	Medio MS					0
	1	-	0.15	-	-	0.6	0
	2	0.675	-	-	1.56	-	28.66 ± 15.68

El análisis de la actividad de catalasa mostró, que los brotes que fueron regenerados a partir de explantes foliares, mostraron menor actividad de catalasa que los explantes de hoja que no fueron sometidos a medio inductor de organogénesis (testigo) (Figura 2). Similarmente, los brotes obtenidos mostraron menor actividad peroxidasa con respecto a los explantes que no se sometieron a organogénesis (Figura 3).

Estos resultados indican que la actividad antioxidante está asociada a los procesos de organogénesis lo que justifica realizar mayores estudios en los procesos de organogénesis y actividad antioxidante en papa.

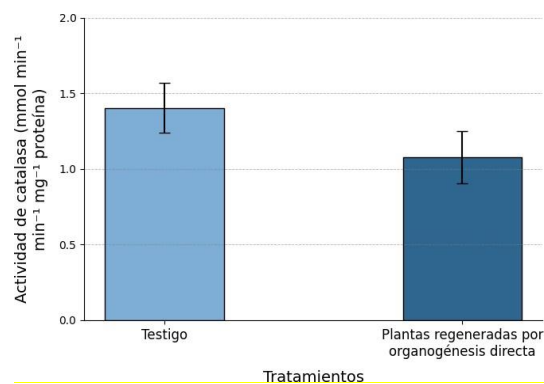


Figura 2. Actividad de catalasa en plantas testigo y plantas regeneradas por organogénesis directa a partir de explantes foliares. El análisis se realizó en brotes de 3 semanas de edad. Cada barra representa el promedio del tratamiento $\pm$ E.E.

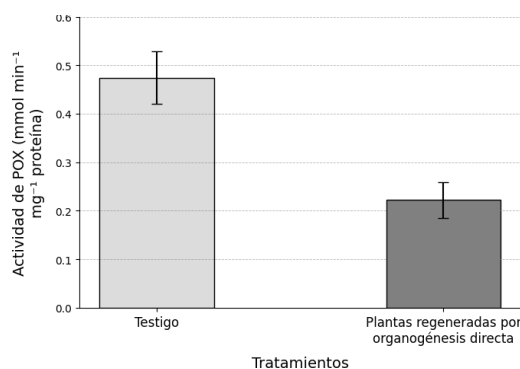


Figura 3. Actividad de peroxidasa en plantas testigo y plantas regeneradas por organogénesis directa a partir de explantes foliares. El análisis se realizó en brotes de 3 semanas de edad. Cada barra representa el promedio del tratamiento $\pm$ E.E.

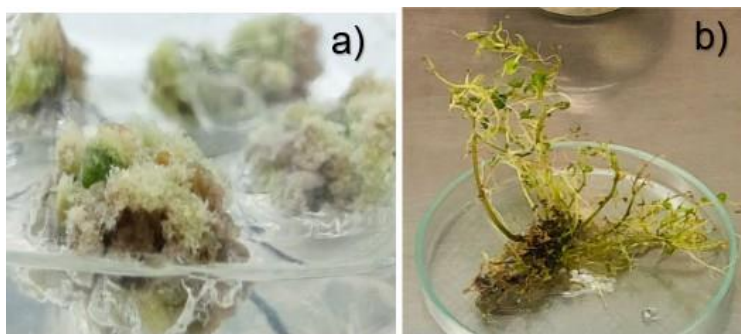


Figura 4. Efecto de reguladores de crecimiento en la morfogénesis de explantes de *Solanum tuberosum* L. (genotipo 5-10). a) Callos formados en explantes de tallo. b) Brotes regenerados a partir de explantes de hoja.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran que la regeneración exitosa de brotes en *Solanum tuberosum* L. (genotipo 5-10) es un proceso altamente dependiente de la formulación específica del medio de cultivo y del tipo de explante.

La callogénesis fue más eficiente en el Medio 2 para ambos tipos de explante, siendo los de entrenudo los más responsivos (aproximadamente 88% de formación de callos). Sin embargo, la organogénesis directa solo se logró exclusivamente en el medio 2 a partir de explantes foliares, los cuales regeneraron un promedio de 28.66 brotes, mientras que los explantes de entrenudo, a pesar de formar callos, no produjeron brotes.

Adicionalmente, el éxito en la regeneración se correlacionó con una menor actividad de las enzimas antioxidantes catalasa y peroxidasa en los brotes regenerados en comparación con las plantas testigo. Estos hallazgos validan la efectividad del medio 2 para la organogénesis directa y sugieren que una reducción en el estrés oxidativo podría ser crucial para los procesos morfogénéticos in vitro, lo que justifica la realización de futuros estudios para investigar esta relación.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Al laboratorio de Fisiología-Biotecnología del Programa Nacional de Papa del INIFAP, donde también fue financiada esta investigación a través de recursos del INIFAP.

LITERATURA CITADA

- Abu Zeid, I. M., Soliman, H. I. A., Metwali, E. M. R. (2022). In vitro evaluation of some high yield potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars under imposition of salinity at the cellular and organ levels. Saudi Journal of Biological Sciences, 29(2), 2541-2551.
- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. Methods In Enzymology On CD-ROM/Methods In Enzymology, 121-126.
- Anderson MD, Prasad TK and Stewart CR. 1995. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. Plant Physiology. 109:1247-1257
- Dietz, KJ, Turkan, I. y Krieger-Liszkay, A. (2016). Señalización dependiente de especies redox y reactivas de oxígeno dentro y fuera del cloroplasto fotosintetizador. Plant Physiol. 171, 1541–1550. doi: 10.1104/pp.16.00375
- Kaur, A., Reddy, M. S., & Kumar, A. (2017). Efficient, one step and cultivar independent shoot organogenesis of potato. Physiology and Molecular Biology of Plants, 23(2), 461-469.
- Kumlay, A. M., & Ercisli, S. (2015). Callus induction, shoot proliferation and root regeneration of potato (*Solanum tuberosum* L.) stem node and leaf explants under long-day conditions. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 29(6), 1075-1084.
- Majeed, D., M., Ayyad, W. A., & Allah, B. (2024b). Effects of different growth hormones on *Solanum tuberosum* L. callus induction and regeneration. Plant Science Today.

Mora-Herrera ME, López-Delgado HA. 2007. Freezing tolerance and antioxidant activity in potato microplants induced by abscisic acid treatment. *American Journal of Potato Research*, 84: 467-475.

CALLOGÉNESIS Y CAULOGÉNESIS EN PLANTAS DE *Solanum tuberosum* L. CON PRETRATAMIENTOS DE ÁCIDO SALICÍLICO Y PERÓXIDO

DE HIDRÓGENO

Judit Sarahi Varela Maldonado^{1,2}, Humberto Antonio López-Delgado¹, Ricardo Martínez Gutierrez¹

¹Laboratorio de Fisiología-Biotecnología, Programa Nacional de Papa, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Conjunto SECAM, CP.52140.

²Universidad Simón Bolívar Av. Río Mixcoac 48, Insurgentes Mixcoac, Benito Juárez, 03920 Ciudad de México, CDMX.

Autor de correspondencia: lopez.humberto@inifap.gob.mx .

PALABRAS CLAVE: Incubación, desdiferenciación, auxinas.

INTRODUCCIÓN

El cambio morfológico de organogénesis es inducido por la variación de concentraciones de fitohormonas, naturalmente son producidos por las plantas en bajas concentraciones y son esenciales por que han demostrado regulación en el desarrollo, crecimiento y actividad bioquímica de las plantas. Las principales fitohormonas utilizadas para su estudio han sido las auxinas, interviniendo en la división celular, elongación y origen de órganos vegetales como tallo, raíz, hoja. Las citoquininas son importantes para la inducción de raíces y su elongación, senescencia de las hojas, aumento y generación de brotes (Alcantara et al., 2019). Las giberelinas regulan la germinación de semillas, generación de brotes, elongación de tallos, expansión foliar, y desarrollo de flores, frutos y semillas (Gao S, Chu C, 2020). El ácido salicílico (AS) y el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) son dos moléculas involucradas en las cascadas de señalización del metabolismo de las plantas, específicamente de la producción de especies reactivas de oxígeno en defensa a un estrés hacia la planta (Dat, et al., 2000). En papa estas moléculas han mostrado tener efectos en la inducción de organogénesis (Ayala, 2023; Hernández, 2024). En el presente proyecto la aplicación exógena de AS y H₂O₂ fue evaluada en la inducción de callogénesis y la actividad enzimática de catalasa (CAT) y peroxidasa (POX).

OBJETIVO

Evaluar el efecto del AS y del H₂O₂ sobre la inducción de organogénesis y caulogénesis en el clon 676008 de *Solanum tuberosum* L, considerando antecedentes en los que se ha demostrado el potencial de estas moléculas señal de dicho proceso. Evaluación de la actividad enzimática de CAT y POX en brotes obtenidos por organogénesis.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material vegetal a utilizar fue el clon 676008 de *Solanum tuberosum* L proveniente del banco de germoplasma in vitro del sitio experimental Metepec del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del Estado de México. Se obtuvo un reservorio de plantas in vitro en medio Murashige y Skoog (MS,1962) con un fotoperiodo a 18°C± 2 durante 3 semanas.

Para las incubaciones se utilizó H₂O 30% grado reactivo de JT. Baker, ácido salicílico de SIGMA Chemical company. Las hormonas para inducción de callo 6-bencilaminopurina (BAP) y 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) de SIGMA science. El uso de hormonas para inducción a brotación con ácido naftalenacético (ANA) y giberélico (GA3) de SIGMA science.

El método experimental se dividió en tres etapas:

Etapas 1. Incubación con AS y H₂O: Se realizaron incubaciones in vitro de segmentos nodales del genotipo 676008 en medio MS. Las incubaciones de AS se llevaron a cabo durante 30 días a $[0, 1 \times 10^{-5} \text{ y } 1 \times 10^{-4} \text{ M}]$. Para H₂O a $[0, 0.1 \text{ y } 1.0 \text{ mM}]$ durante 1 hora, seguido de un cultivo por 30 días en medio MS. **Etapas 2.** Inducción a Callo: Los entrenudos de las plantas obtenidas fueron cultivados en un medio para la inducción de callogénesis. Con medio MS suplementado con 2.0 mg/L de 2,4-D y 0.5 mg/L de BAP, permanecieron durante 9 semanas en cultivo. **Etapas 3.** Caulogénesis: Se sometieron los callos obtenidos de la segunda etapa a medio MS adicionado con 0.3 mg/L ANA, 3.0 mg/L BAP y 0.5 mg/L de GA3 (medio de brotación), los brotes en los callos se observaron en la sexta semana, se dejaron crecer para posterior colocarlos en medio MS sin hormonas para su respectiva propagación y análisis de catalasa (CAT) y peroxidasa (POX).

Análisis de CAT y POX: La actividad de CAT se determinó en brotes derivados de callos pretratados, siguiendo el protocolo descrito por Aebi (1984). El tejido vegetal se homogeneizó en una solución de fosfato de potasio 50 mM (pH 7.2) con 5 mM de ditioneitol (DTT), 1 mM de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y 2 % de polivinilpirrolidona (PVP), en una proporción de 1 mL/0.25 g de peso de tejido vegetal. La mezcla se centrifugó a $3000 \times g$ durante 15 min. Se midió la disminución de la absorbancia a 240 nm durante 3 min, con lecturas cada 20 s. El cálculo se realizó empleando un coeficiente de absorción de $39.4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. La actividad de POX se determinó en un medio de reacción que contenía 50 mM de tampón fosfato de sodio (pH 7.0), 3.33 mM de guayacol, 4 mM de H₂O y 20 μL de muestra, en un volumen final de 3.0 mL. La reacción se inició con la adición de la muestra, manteniendo una temperatura entre 25 y 28 °C. El blanco consistió en el medio de reacción sin extracto proteico. La oxidación del guayacol se evaluó registrando el incremento en la absorbancia a 470 nm durante 3 min, con lecturas cada 30 s. La actividad enzimática se calculó usando el coeficiente de absorción del guaiacol $c=20 \text{ mmol mm}^{-1}$.

Diseño experimental

En la primera etapa, para cada tratamiento se utilizaron 10 plantas, en total se obtuvieron 60 plantas realizando el ensayo por triplicado, un total de todo el experimento de 180 plantas. La segunda etapa consistió en la inducción de callogénesis, empleando 20 entrenudos por cada tratamiento obtenidos de las plantas desarrolladas en la etapa anterior, teniendo un total de 120 entrenudos inducidos a callo, de igual manera, este procedimiento se realizó por triplicado. En la tercera etapa, los callos generados fueron transferidos a un medio de brotación. El número de unidades experimentales por tratamiento varió en función del porcentaje de callogénesis obtenido en la etapa previa.

Análisis estadístico de los datos

La información recolectada fue procesada mediante análisis de varianza (ANOVA) para determinar la significancia entre tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la etapa 1: incubaciones con AS y H₂O₂: como se muestra en la figura 1, el peso para plantas pretratadas con AS muestra una ligera disminución respecto al control, lo que sugiere que estas concentraciones no favorecen el peso. Para el caso de H₂O₂ no se observan diferencias significativas en comparación con su control. Las concentraciones utilizadas pudieron no haber estimulado adecuadamente para los mecanismos de crecimiento.

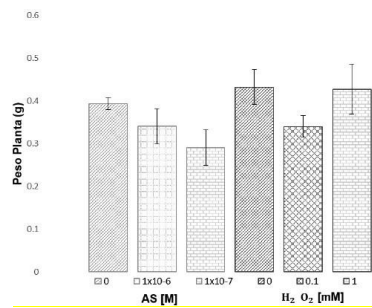


Figura 1. Peso de plantas preincubadas in vitro en concentraciones de AS en medio MS por 30 días y plantas pretratadas con H₂O₂ durante 1 h seguido de 30 días de cultivo en medio MS. Cada barra representa el promedio de 3 repeticiones $\pm$ E.E (n=10).

En el cuadro 1 se realizó la evaluación del crecimiento de las plantas con la medición de la longitud, las tratadas con AS presentan un aumento leve en comparación con el control, estadísticamente no hay diferencia significativa. Plantas pretratadas con H₂O₂ se observa un aumento progresivo en la longitud.

Ambos tratamientos superan a sus respectivos controles, pero el efecto de H₂O₂ a 1 mM con 9.87 ± 0.79 es el más notable.

Cuadro 1. Longitud de plantas incubadas con AS y H₂O₂. Incubaciones por triplicado $\pm$ E.E (n=10).

Tratamiento	AS [M]			H ₂ O ₂ [mM]		
Longitud (cm)	0	1X10-6	1X10-7	0	0.1	1
	8.64 $\pm$ 0.63	8.73 $\pm$ 1.0	8.86 $\pm$ 1.2	8.82 $\pm$ 0.8	9.04 $\pm$ 0.79	9.87 $\pm$ 1.16

Etapa 2: Inducción a callogénesis: En la figura 2 se observa que la incubación en AS promovió un incremento notable en el peso de callo respecto al control, alcanzando valores cercanos a 0.20 g tanto en 1x10⁻⁶ M como en 1x10⁻⁷ M. En contraste el H₂O₂ que 0.1 mM no modificó el peso de callo en comparación con el control, mientras que 1mM produjo el valor más alto registrado con 0.230 g.

Estos resultados sugieren que el AS ejerce un efecto estimulante consistente sobre la proliferación de tejido, mientras que el H O podría requerir concentraciones elevadas para inducir una respuesta positiva.

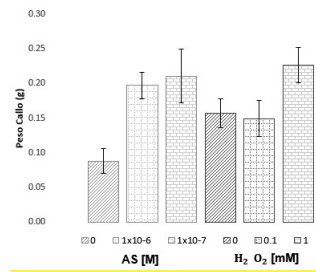


Figura 2. Peso de callos provenientes de entrenudos pretratados con AS y H O medio MS adicionado con 2,4-D a 2.0 mg/L y BAP a 0.5 mg/L. Promedio de 3 repeticiones ± E.E (n=20).

Para el porcentaje de formación de callo, en el caso del AS, como se muestra en la figura 3 se observa un incremento significativo en la formación de callo en comparación con el control (68.3 %), alcanzando su valor máximo con 1×10 M (91.7 %). En contraste, el tratamiento con H O no generó un incremento sustancial en la formación de callo respecto al control (91.7 %). A concentraciones de 0.1 mM y 1 mM, los valores disminuyeron levemente (86.7 % y 83.3 %, respectivamente).

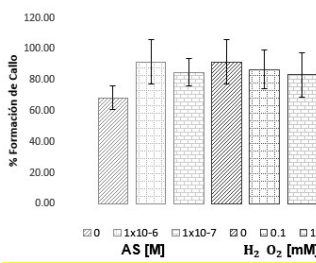


Figura 3. Porcentaje de formación de callogénesis en entrenudos de plantas previamente incubadas en AS y H O en medio MS adicionado con 2,4-D a 2.0 mg/L y BAP a 0.5 mg/L. Resultado de ensayo experimental por triplicado ± E.E (n=20).

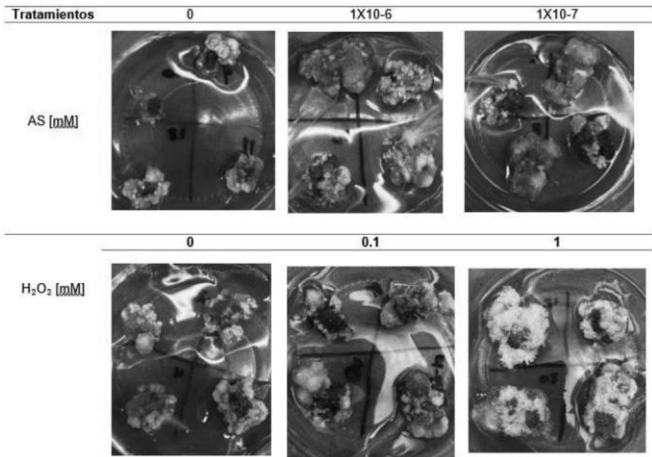


Figura 4. Callos obtenidos de la etapa dos de inducción a callogénesis en diferentes tratamientos de AS y H O

Etapa 3. Inducción a Brote: El cuadro 2 muestra que el pretratamiento de AS en 1×10^{-6} M y 1×10^{-7} M tienden a incrementar el número de brotes por callo sin afectar negativamente el porcentaje de brotación, en comparación con su testigo. Por otro lado, el tratamiento con H_2O_2 , especialmente a 0.1 mM, mostró una reducción tanto en el porcentaje de brotación como en el número de brotes, sugiriendo un posible efecto inhibitorio en las condiciones evaluadas.

Cuadro 2. Porcentaje de brotación y número de brotes provenientes de callos pretratados. Resultados de 3 repeticiones $\pm$ E.E. (n= 5 -10).

Tratamientos	Porcentaje de Brotación (%)	Número de brotes/ Callo
AS [M]		
	0	21.43 $\pm$ 10.4
	1X10-6	22.3 $\pm$ 8.0
	1X10-7	21.6 $\pm$ 5.0
H ₂ O ₂ [mM]		
	0	17.2 $\pm$ 11.1
	0.1	9.2 $\pm$ 5.1
	1	16.7 $\pm$ 15

Actividad de enzimas CAT y POX.

La actividad de CAT y POX fue evaluada en brotes regenerados a partir de callos sometidos a pretratamientos AS. Con CAT (Figura 5), se observó un incremento significativo en 1×10^{-6} M, alcanzando un valor de 1.85 mmol/min·mg de proteína. Este resultado sugiere que el AS, en bajas concentraciones, puede inducir una mayor actividad de CAT. Por otro lado, la actividad de POX mostró una tendencia opuesta. El valor más alto se registró en el control (0.48 mmol/min·mg de proteína), mientras que las concentraciones de AS redujeron progresivamente la actividad de POX, alcanzando su valor mínimo con 1×10^{-6} M. Esta disminución sugiere una posible inhibición de la actividad de POX en presencia de AS, o bien una menor necesidad de su actividad.

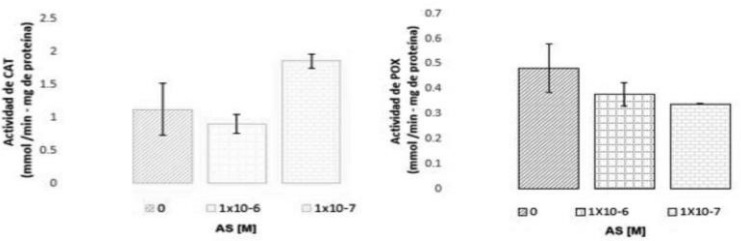


Figura 5. A) Medición de la actividad enzimática de CAT B) medición enzimática de POX en brotes obtenidos de callos pretratados con AS. Repetición por triplicado $\pm$ E.E (n=3).

CONCLUSIONES

El AS promovió de forma consistente la callogénesis, alcanzando los mayores valores de peso y porcentaje de formación de callo, especialmente a 1×10^{-6} M, mientras que el H₂O mostró efectos positivos únicamente a concentraciones elevadas. Aunque el H₂O a 1 mM estimuló la elongación de la planta en etapa de incubaciones, ninguno de los tratamientos mejoró significativamente la brotación final. Estos resultados indican que el AS posee mayor potencial como inductor de proliferación celular in vitro, mientras que el H₂O podría actuar como modulador del crecimiento inicial, requiriendo ajustes de concentración y tiempo de exposición para optimizar la regeneración de brotes.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Al laboratorio de Fisiología-Biotecnología del Programa Nacional de Papa del INIFAP, donde también fue financiada esta investigación a través de recursos del INIFAP.

LITERATURA CITADA

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. In *Methods in enzymology* (Vol. 105, pp. 121-126). Academic press.
- Alcantara- Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcantara Cortés, J. D., y Sánchez Mora, R.M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17 (32), 109-129.
- Ayala Hernández, D. D. (2023). El ácido salicílico y el peróxido de hidrógeno en la organogénesis in vitro de plantas de *Solanum tuberosum* L. asociada a la actividad antioxidante [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados].
- Dat, J., Vandenabeele, S., Vranova, E. V. M. M., Van Montagu, M., Inzé, D., y Van Breusegum, F. (2000). Dual action of active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular life sciences CMLS*, 57(5), 779-745.
- Gao, S., & Chu, C. (2020). Gibberellin Metabolism and Signaling: Targets for Improving Agronomic Performance of Crops. *Plant & cell physiology*, 61(11), 1902-1911. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcaa104>
- Hernández-Zarco, K., Velazquez-Arzate, D, & López-Delgado, H. (2024). Inducción de callogénesis con pretratamientos de ácido salicílico y peróxido de hidrógeno en *Solanum tuberosum* L. Reuniones INIFAP 2024
- Murashige, T., and Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15, 473-479.

ACTIVIDAD ENZIMÁTICA ANTIOXIDANTE EN *Solanum tuberosum* DESPUÉS DE 40 AÑOS DE PRESERVACIÓN EN BANCO DE GERMOPLASMA *IN VITRO*

Humberto Antonio López Delgado¹, Ricardo Martínez Gutierrez¹

¹Programa Nacional de Papa, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Conjunto SEDAGRO, Metepec, Edo. de México. 52140.

Autor de correspondencia: lopez.humberto@inifap.gob.mx.

PALABRAS CLAVE: Conservación mediano plazo, Estrés oxidativo, papa.

INTRODUCCIÓN

En 1952 se descubrió la importancia del Valle de Toluca para la evaluación y selección de germoplasma con resistencia al tizón tardío, cuyo agente causal es el hongo *Phytophthora infestans*, la enfermedad de la papa más importante a nivel mundial. La resistencia genética de la papa al tizón tardío, a nivel internacional, se ha generado a partir de especies silvestres de papa mexicanas la mayoría de ellas crecen en el Eje Neovolcánico y en el Valle de Toluca. Materiales nativos del Valle de Toluca han constituido por muchos años, la fuente de variabilidad genética para efectuar mejoramiento genético, con los años, dio lugar a una colección de germoplasma con importancia a nivel internacional de clones y variedades generados por INIFAP que se encuentra en el Laboratorio de Fisiología-Biotecnología del Sitio Experimental Metepec del INIFAP, en Metepec, Estado de México. La colección cuenta con 480 entradas in vitro entre materiales nativos, clones mejorados, variedades generadas por el Programa Nacional de Papa, así como materiales procedentes de Europa, Estados Unidos y Canadá. La preservación in vitro a mediano plazo implica estrés osmótico. El estrés induce una sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (EROs) como señalización para la adaptación al estrés. Las EROs son productos del metabolismo en las plantas, funcionan como señales que regulan el crecimiento y el desarrollo y tolerancia a estrés. Especies Reactivas de Oxígeno (ROS) son productos del metabolismo en las plantas, funcionan como señales que regulan el crecimiento y el desarrollo, tolerancia a estrés biótico y abiótico (Scandalios, 2005).

OBJETIVO

Investigar si la preservación in vitro prolongada bajo estrés osmótico por 40 años, influye en la tolerancia a golpe de calor y su relación con la actividad enzimática antioxidante como catalasa (CAT) y peroxidasa (POX), respecto a plantas en micropropagación no sometidas a preservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico.

Aproximadamente 80 esquejes de los clones 720084 y 676004 provenientes del banco de germoplasma in vitro del Programa Nacional de Papa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Metepec, Edo. Méx. fueron subcultivados en medio de micropropagación MS durante 48 horas por el método descrito por Espinoza et al. (1986); posteriormente, 40 esquejes de cada clon fueron sometidos a un golpe de calor a 40°C durante 16

horas, transcurrido ese tiempo, los esquejes fueron transferidos al cuarto de incubación para determinar la sobrevivencia de cada genotipo. Los 40 esquejes sobrantes, fueron utilizados para determinar la actividad enzimática de catalasa (CAT) y peroxidasa (POX).

Determinación de la actividad de catalasa y peroxidasa

La actividad enzimática de CAT se determinó en esquejes de vitroplantas 48 horas después del subcultivo, de acuerdo al método Aebi (1984), la cual consistió en moler tejido vegetal en 50 mM de fosfato de potasio pH 7.2, 5 mM DTT, 1 mM EDTA, 2% PVP (1 mL 0.25 g⁻¹ peso fresco), se centrifugó a 3000 g por 15 min. La reacción se leyó a 240 nanómetros por 3 min cada 20 s con un medio de reacción. La actividad enzimática se calculó por el coeficiente de absortividad 39.4 mM⁻¹ cm⁻¹.

La cuantificación de la actividad enzimática de la POX por espectrofotometría se realizó de acuerdo al método descrito por Mora-Herrera y López-Delgado (2007). La extracción de proteína se realizó de la manera anteriormente descrito para CAT. La actividad enzimática de la POX se midió en la mezcla de reacción con amortiguador de fosfato de sodio 50 mM pH 7.0, 3.33 mM de guaiacol, 4 mM de H₂O₂ y 0.020 mL de la muestra en un volumen final de 3 mL. La reacción se inició con la adición de la muestra a 25-28°C. El blanco consistió en el amortiguador de reacción sin extracto de proteína. La oxidación del sustrato (guaiacol) se determinó por el incremento en la absorbancia a 470 nm durante 3 minutos en intervalos de 30 s. Para medir la actividad de la POX se usó el coeficiente de absortividad del guaiacol E= 2.6 mmol⁻¹ mm⁻¹.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente aleatorio. Se realizaron por lo menos tres experimentos y cada variable se cuantificó al menos tres veces.

Análisis estadístico de los datos

Las variables continuas fueron analizadas por medio de la prueba ANOVA (P s; 0.05), en algunos casos los promedios de los tratamientos se analizaron con la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (P s; 0.05), mediante el programa Statgraphics plus 5.0.

RESULTADOS

Los diferentes clones de papa usados en esta investigación, tienen una respuesta diferencial contrastante al estrés por golpe de calor (40 °C), el clon 7200884 proveniente de banco e incubador presentó el mayor porcentaje de sobrevivencia (90 y 45%) en contraste con el clon 676004 que presentó un menor porcentaje en ambas condiciones (Figura 1 a). Se observó que la actividad de catalasa fue similar en ambos clones tanto en condiciones de banco como de incubador; sin embargo, el clon 7200884 presentó una reducción significativa de la actividad de CAT en condición de banco (Fig. 1b). Interesantemente, la respuesta diferencial de la actividad enzimática de POX podría estar asociada principalmente al porcentaje de supervivencia como ocurrió con el clon 7200884, el cual presentó una actividad significativamente mayor en contraste con el clon 676004 (Fig. 1c).

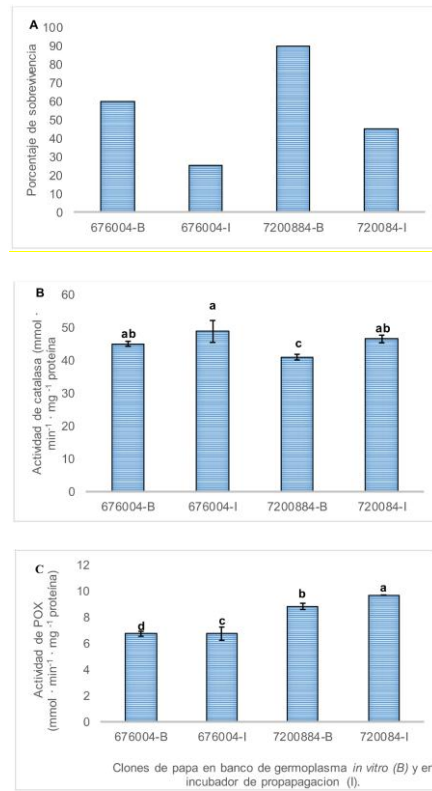


Figura 1. a) Porcentajes de sobrevivencia a golpe de calor (40 °C), B) actividad enzimática de catalasa y C) actividad enzimática de peroxidasa de esquejes de los clones 676004 y 7200884 provenientes de banco de germoplasma y de incubador. Promedios + EE, n=9. Barras con diferente letra denotan diferencia significativa

CONCLUSIONES

Los resultados demostraron el incremento de sobrevivencia podría estar asociada a una significativamente mayor actividad de POX en el clon 720084 tanto en condiciones de banco como de incubación, favorecieron un alto porcentaje de sobrevivencia, sin embargo; existe una respuesta interesante en ambos clones que demuestra un efecto positivo en el porcentaje de sobrevivencia cuando están en condiciones de estrés. El estrés causado por la conservación *in vitro*, podría inducir una respuesta cruzada al golpe de calor, que favorezca la tolerancia a dos o más tipos de estrés como se demuestra en esta investigación. Sin embargo, hay que realizar otras determinaciones fisiológicas y bioquímicas como contenidos de peróxido, para comprobar estos resultados y así determinar las respuestas fisiológicas implicadas en la sobrevivencia entre genotipos de papa en condiciones de banco e incubación.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA.

Agradecemos el apoyo otorgado mediante recursos fiscales.

LITERATURA CITADA

- Scandalios JG. 2005. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 38: 995-1014.
- Aebi H. 1984. Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*. 105: 121-126.
- Espinoza NO, Estrada R, Silva-Rodríguez D, Tovar P, Lizarraga R, Dodds JH. 1986. The potato: a model crop plant for tissue culture. *Outlook on Agriculture*. 15:21-26.
- Mora-Herrera ME, López-Delgado HA. 2007. Freezing tolerance and antioxidant activity in potato microplants induced by abscisic acid treatment. *American Journal of Potato Research*. 84: 467-475.

CONSERVACIÓN DE TEJIDO VEGETAL DE FRESA (*Fragaria* sp.) EN CONDICIONES DE CRECIMIENTO MÍNIMO ADICIONADO CON ÁCIDO SALICÍLICO

Esmeralda Judith Cruz-Gutiérrez¹, Claudia Berenice Espitia-Flores², Marco Antonio Ramírez-Mosqueda¹, Humberto López-Delgado³, Juan Manuel Pichardo-González¹, Marcelina Vélez-Torres⁴, Gabriela Sandoval-Cancino¹

¹Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP. Boulevard de la Biodiversidad, #400. Rancho Las Cruces, C. P. 47600, Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

²Centro Universitario de los Altos de la Universidad de Guadalajara, Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

³Laboratorio de Fisiología y Biotecnología. Programa de Papa INIFAP. Conjunto SEDAGRO Metepec, Estado de México.

⁴Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. C.P. 56264.

Autora de correspondencia: cruz.esmeralda@inifap.gob.mx

PALABRAS CLAVE: Frutillas, agentes osmóticos, banco de germoplasma.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la fresa en México va en aumento por la demanda que actualmente se tiene a nivel nacional e internacional. A nivel internacional el país se encuentra entre los mayores productores de fresa (SIAP, 2023). Para la producción de fresa, es necesario tener variedades liberadas, por lo que muchos productores y empresas realizan mejoramiento del material vegetal para producir el fruto de la fresa con características atractivas al consumidor. Varios productores tienen la necesidad de conservar su material mejorado, por lo que se ofrece una alternativa de conservación a través de la herramienta de cultivo in vitro. El crecimiento mínimo in vitro es una técnica de conservación a corto y mediano plazo, tiene como objetivo la reducción de la tasa de crecimiento del tejido vegetal y la conservación en condiciones de crecimiento mínimo in vitro es una estrategia de almacenamiento a corto y medio plazo que utiliza el control de factores ambientales para reducir la tasa metabólica del tejido vegetal y extender su viabilidad sin necesidad de subcultivos frecuentes. Esta técnica es fundamental para preservar la diversidad genética de especies que no producen semillas viables o que son genéticamente heterogéneas (Engelmann, 2011). El ácido salicílico (AS) es una hormona vegetal que actúa como una molécula señalizadora. Su principal efecto es la inducción de tolerancia al estrés, lo que mejora la viabilidad y la supervivencia de los explantes

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de diferentes concentraciones de AS para la conservación a mediano plazo de tejido vegetal de fresa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Material vegetal fueron plántulas in vitro de fresa (*Fragaria* spp). Se utilizó medio de cultivo Murashige y Skoog al 100% suplementado con manitol (15 g L⁻¹) y sacarosa (15 g L⁻¹); agar (8 g L⁻¹), y

tres concentraciones de AS (10⁻⁴ M, 10⁻⁵ M, 10⁻⁶ M), incubación a temperatura de 5 °C, y fotoperiodo de 12 h, para la conservación en crecimiento mínimo, comparándolo con un el testigo, medio de cultivo Murashige y Skoog al 100% suplementado con sacarosa (15 g L⁻¹), agar (8 g L⁻¹), incubado a una temperatura de 24 °C y un fotoperiodo de 12 h.

Diseño experimental

El estudio se realizó utilizando un diseño experimental completamente al azar con diez repeticiones. Los tratamientos de AS fueron: 0 M, 10⁻⁴ M, 10⁻⁵ M y 10⁻⁶ M y el tiempo de conservación del material vegetal fue de 12 meses.

Análisis estadístico de los datos

Los análisis estadísticos se hicieron con el programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2002). Previo al análisis, los valores de la variable respuesta porcentaje de retención, la cual se expresó en porcentaje, se transformó con la función arco seno $\sqrt{X/100}$. Se realizó un análisis de varianza y se efectuaron pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05), analizadas con Diferencia mínima significativa (DMS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1 se observa que el tratamiento uno junto con el testigo fueron los que menor altura de explante tuvieron, en cuanto al número de hojas el testigo y el tratamiento tres tuvieron menor presencia. El tratamiento uno presentó menor número de raíces, sin embargo, el tratamiento tres presentó menor longitud de raíces.

Cuadro 1. Efecto de las diferentes concentraciones de AS en la conservación en condiciones de crecimiento mínimo *in vitro* de fresa (*Fragaria* sp.) al cabo de 12 meses.

AS M	Supervivencia (%)	Longitud del explante (cm)	Número de hojas	Número de raíces	Longitud de raíces (cm)
Testigo	100 ± 0.00a	1.24 ± 0.08b	18.60 ± 2.44a	1.90 ± 0.17a	3.25 ± 0.32a
T1 (10 ⁻⁴)	100 ± 0.00a	1.25 ± 0.06b	17.10 ± 1.83a	1.20 ± 0.13a	2.94 ± 0.27a
T2 (10 ⁻⁵)	100 ± 0.00a	1.74 ± 0.12a	17.50 ± 1.92a	1.80 ± 0.13a	2.78 ± 0.12a
T3 (10 ⁻⁶)	100 ± 0.00a	1.37 ± 0.08b	14.60 ± 1.37a	1.50 ± 0.22a	2.67 ± 0.18a

Los valores representan la media ± error estándar. Los valores seguidos de letra diferente denotan diferencias estadísticas significativas según (Tukey, *P* ≤ 0,05).

Se observa que el tratamiento uno es donde la altura del explante es menor, seguido por el tratamiento tres. El efecto del AS por ejemplo en papa *in vitro* y que fue crioconservadas fue que la papa tuvo mejor regeneración con concentraciones de 10⁻⁵ y 10⁻⁶ M, en cuanto al crecimiento mínimo la supervivencia fue del 100% (Ayala-Hernández et al., 2019). Por otro lado, también en papa *in vitro*, se observó que la aplicación de 100 mg L⁻¹ tuvo un efecto significativo en el número de

brotos, el número de hojas, el área foliar y la longitud y el número de raíces (Alutbi et al., 2017). Aunque la fresa no es para conservación, se observa que tuvo efectos positivos en la presencia de las variables número de brotes, el número de hojas, el área foliar y la longitud y el número de raíces.

CONCLUSIONES

La aplicación del AS como molécula señalizadora y que ayuda a la inducción de tolerancia al estrés, en las condiciones de conservación en crecimiento mínimo in vitro, el efecto que se presentó en fresa, es que todos los explantes sobrevivieran. Esto es positivo para asegurar la recuperación del tejido vegetal después de sacarlos de las condiciones de conservación in vitro.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Agradecemos al Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP por las facilidades de realizar ensayos de conservación a mediano plazo.

LITERATURA CITADA

Ayala-Hernández, D. D.; Ruiz-Saénz, D. R.; Cruz-Gutiérrez, E. J.; López-Delgado, H. A.. 2019. Ácido salicílico induce tolerancia al estrés por criogenia en *Solanum tuberosum*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 10 (7).

Engelmann, F. (2011). Use of biotechnologies for the conservation of plant genetic resources. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant, 47(1), 5-16.

Sabeh D. Alutbi, Sahar A.A. Malik Al-Saadi, Zainab J. Madhi Biology Department -Science College - Basra University – Iraq. 2017. The Effect of Salicylic Acid on the Growth and Microtuberization of Potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Arizona Propagated in Vitro. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare. 7 (2).

SIAP. (2023). Producción de Fruta: Fresa. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

CONSERVACIÓN DE TEJIDO VEGETAL DE FRESA (*FRAGARIA SP.*) EN CONDICIONES DE CRECIMIENTO MÍNIMO

Esmeralda Judith Cruz-Gutiérrez^{1*}, Juan Manuel Pichardo-González¹, Claudia Berenice Espitia-Flores², Marco Antonio Ramírez Mosqueda¹, Humberto López-Delgado³, Marcelina Vélez-Torres⁴

¹Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP. Boulevard de la Biodiversidad, #400. Rancho Las Cruces, C. P. 47600, Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

²Centro Universitario de los Altos de la Universidad de Guadalajara, Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

³Laboratorio de Fisiología y Biotecnología. Programa de Papa INIFAP. Conjunto SEDAGRO Metepec, Estado de México.

⁴Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. C.P. 56264.

*Autora de correspondencia: cruz.esmeralda@inifap.gob.mx

PALABRAS CLAVE: Frutillas, manitol, sacarosa.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad una de los objetivos del país es la conservación de recursos genéticos, esto con el objetivo de asegurar la alimentación para la población, para esto existe diferentes técnicas de conservación ex situ de germoplasma resguardando las características deseables para cada especie, para que posteriormente se utilicen en diversas investigaciones o como fuente de genes para mejoramiento de las especies (Vélez-Torres et al., 2023). Existen varios métodos de conservación ex situ, ya sea en semillas en cámaras frías o tejido vegetal en condiciones in vitro. La conservación in vitro se aplica a especies de propagación vegetativa o que tienen semillas recalcitrantes, en este caso una de las técnicas que se utiliza es el método de crecimiento mínimo el cual consiste en la modificación de las condiciones *in vitro* para disminuir la tasa de crecimiento sin afectar la viabilidad, se puede modificar la temperatura, la luminosidad, el medio de cultivo, la atmosfera del recipiente o añadiendo inhibidores osmótico o retardantes del crecimiento (Montiel-Castelán et al., 2016).

Por otro lado, el cultivo de la fresa en México tiene un alto impacto, ya que es uno de los principales productores por la alta demanda que actualmente se tiene a nivel nacional e internacional (SIAP, 2023). Por esta razón es importante el resguardo de las diferentes variedades de esta especie, para que posteriormente se disponga del material para la producción o para tener una fuente genética y realizar mejoramiento genético de la especie y sacar nuevas variedades para la producción.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue evaluar el protocolo de crecimiento mínimo in vitro en tejido vegetal de fresa (*Fragaria sp.*) modificando el medio de cultivo, agregando manitol, sacarosa y disminuyendo la temperatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Material vegetal fue plántulas in vitro de fresa (*Fragaria* sp.). Se utilizó medio de cultivo Murashige y Skoog al 100% suplementado con manitol (15 g L⁻¹) y sacarosa (15 g L⁻¹); agar (8 g L⁻¹), y, incubación a temperatura de 5 °C, y fotoperiodo de 12 h, para la conservación en crecimiento mínimo, comparándolo con un el testigo, medio de cultivo Murashige y Skoog al 100% suplementado con sacarosa (30 g L⁻¹), agar (8 g L⁻¹), incubado a una temperatura de 24 °C y un fotoperiodo de 12 h.

Diseño experimental

El estudio se realizó utilizando un diseño experimental factorial de dos factores (tiempo y tratamiento) completamente al azar con diez repeticiones. El tratamiento fue 15 g L⁻¹ de manitol y 15 g L⁻¹ de sacarosa, MS al 100% y 8 g L⁻¹ de agar, comparado con el testigo. El tiempo de conservación del material vegetal fue de 6 meses.

Análisis estadístico de los datos

Los análisis estadísticos se hicieron con el programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2002). Previo al análisis, los valores de la variable respuesta porcentaje de retención, la cual se expresó en porcentaje, se transformó con la función arco seno $\sqrt{X/100}$. Se realizó un análisis de varianza y se efectuaron pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1 se observa la diferencia entre las condiciones de conservación y el testigo para explantes de fresa. Se observa que la altura de explante fue menor en crecimiento mínimo a 5° C con 15 g L⁻¹ de manitol y 15 g L⁻¹ de sacarosa que a temperatura de 24° C al igual que el número de brotes, presencia de raíz. También se observa que todos los explantes sobrevivieron y que no se oxidaron.

Cuadro 1. Efecto del tratamiento de conservación en crecimiento mínimo in vitro con manitol y sacarosa de fresa (*Fragaria* sp.), por un periodo de 6 meses. DMS= Diferencia mínima significativa. C. M.: Crecimiento mínimo. Valores con la misma letra son estadísticamente similares (Tukey, $P \leq 0.05$).

Combinación		Altura del explante	Número de nudos	Número de brotes	Presencia de raíz	Sobre vivencia	Oxidación
Tiempo meses	Trat						
3	Testigo	1.98 b	1.00 b	2.30 a	0.60 ab	1.00 a	0.00 a
3	C. M.	1.00 d	1.00 b	0.00 b	0.00 c	1.00 a	0.00 a
6	Testigo	4.18 a	2.50 a	2.60 a	1.00 a	1.00 a	0.00 a
6	C. M.	1.30 c	1.00 b	0.40 b	0.50 b	1.00 a	0.00 a
DMS		0.28	0.31	0.59	0.44	0.00	0.00

Se observa que en las condiciones de crecimiento mínimo disminuyó el metabolismo de los explantes. Vélez-Torres et al., 2023, menciona que esta técnica también permita aumentar el tiempo entre subcultivos, lográndose con la aplicación de retardantes de crecimiento como ancimídol o paclobutrazol, colocar los explantes a bajas temperaturas, usar agentes osmóticos como manitol y sorbitol o también utilizar medios con bajas concentraciones de sales minerales. Otras investigaciones que se han realizado con otras especies se ha observado que también utilizando paclobutrazol (PBZ) y cido absclísico (ABA), teniendo como resultado que a concentraciones de 2.0 mg L⁻¹ de PBZ y en ABA 0.5 mg L⁻¹ se reduce la altura del explante (Ramírez-Mosqueda et al., 2024). Otro ejemplo de crecimiento mínimo donde se utilizó manitol fue con las especies *Tectona grandis* L. y *Swietenia macrophylla* King., donde se aplicó 15 g L⁻¹ de manitol donde con esta concentración se redujo significativamente el crecimiento in vitro, además, que se mantuvo el vigor y la sobrevivencia de los explantes a una temperatura de 18° C. (Montiel-Castelán et al., 2016).

CONCLUSIONES

La mejor concentración para la conservación en crecimiento mínimo in vitro para tejido vegetal de fresa es 15 g L⁻¹ de manitol y 15 g L⁻¹ de sacarosa en medio MS al 100% y 8 g L⁻¹ de agar. En estas condiciones los explantes crecen lentamente para su conservación teniendo un 100% de viabilidad. La conservación de tejido vegetal en estas condiciones, es una alternativa para la conservación a mediano plazo en bancos de germoplasma vegetal, lo cual permite aumentar el tiempo entre subcultivos ahorrando tiempo y asegurando la viabilidad del explante.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Agradecemos al Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP por las facilidades de realizar ensayos de conservación a mediano plazo.

LITERATURA CITADA

- Montiel-Castelán P., Castillo-Martínez, C.R., Gómez-Reyes, L.A., Valle-Arizaga, M., y J. Jasso-Mata. 2016. Conservación in vitro por crecimiento mínimo de *Swietenia macrophylla* King, y *Tectona grandis* L. Agroproductividad. 9 (2): 20-25.
- Ramírez-Mosqueda M. A., López-Aguilar R., Ordúño-Cruz A. y M. V. Rodríguez- Deméneghi. 2024. Conservación in vitro de *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins por crecimiento mínimo. Publibotánica. 58: 171-180. DOI: 10.18387/polibotanica.58.12.
- SIAP. (2023). Producción de Fruta: Fresa. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Vélez-Torres, M., Cruz-Gutiérrez, E. J., Calderón-Zavala, G., & Arellano-Ostoa, G. (2023). Conservación in vitro de recursos genéticos de zarzamora (*Rubus* spp.) y fresa (*Fragaria* L.) mediante crecimiento mínimo. Agro-Divulgación, 3(4). <https://doi.org/10.54767/ad.v3i4.219>

EVALUACIÓN MORFOMÉTRICA DE FRUTOS Y POLIEMBRIONÍA EN SEMILLAS DE PORTAINJERTOS CÍTRICOS

Yazmin Hidalgo-Gómez¹, Angel Villegas-Monter^{1*}, María Alejandra Gutiérrez-Espinosa¹, Guillermo Calderón-Zavala¹, Baldomero Alarcón-Zúñiga²

¹Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia, Texcoco, Estado de México.

*Autor de correspondencia: avillega@colpos.mx

INTRODUCCIÓN

La citricultura representa una actividad agroindustrial relevante en México debido a su contribución económica, social y ambiental. Con superficie cultivada superior a las 500 000 ha y producción anual de más de 7 millones de toneladas, además es fuente de empleo. A nivel regional el estado de Veracruz es el principal productor con 35 % principalmente naranja y lima persa (SIAP, 2023).

Uno de los aspectos más relevantes en el género citrus es la capacidad de algunos cultivares y portainjertos de producir semillas poliembrionicas, conocido como apomixis. Este proceso fue descrito por primera vez en 1917 por Leeuwenhoek, quien observó semillas de naranja con más de dos embriones, donde, además del embrión cigótico (producto de la fecundación), se forman embriones adventicios de origen nucelar. Estos últimos son genéticamente idénticos a la planta madre, lo que los convierte en una herramienta valiosa para la propagación clonal de portainjertos uniformes y libres de patógenos (Zhang et al., 2018). Sin embargo, no es fácil diferenciar los embriones cigóticos y nucleares, que sigue siendo un desafío para el mejoramiento genético, debido a la presencia de ambos tipos en la misma semilla que dificulta la selección de genotipos con características superiores (Sánchez-Damas et al., 2006). En este contexto, esta investigación evalúa las características morfológicas de fruto y poliembrionía en semillas de nueve portainjertos cítricos en dos ciclos productivos consecutivos.

METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo con semillas de cítricos:

-Trifoliados: Citrumelo 'Swingle' (*Citrus paradisi* × *Poncirus trifoliata*), Citranges 'C-35', 'Carrizo' y 'Rusk' (*C. sinensis* × *P. trifoliata*).

-Mandarinas: 'Amblycarpa' (*Citrus amblycarpa*), 'Rangpur' (*C. limonia*), 'Sun chu sha' (*C. reticulata*).

-Otras especies: 'Standar sour' (*C. aurantium*) y limón 'Volkameriano' (*C. volkameriana*).

Los frutos se recolectaron en una huerta productora de semillas de polinización libre en el Ejido "Miguel", Cazones de Herrera, Veracruz (20°41'26" N, 97°15'59" O, 25 m de altitud), clima cálido húmedo con temperatura media anual de 25°C, precipitación promedio de 1,500 mm y humedad relativa del 82% (CEIEG, 2024).

Obtención y Procesamiento de Frutos

Se realizaron muestreos en dos ciclos productivos (2022-2023 y 2023-2024), seleccionando al azar cinco árboles por portainjerto. De cada árbol, se cosecharon cinco frutos en estado de madurez fisiológica, los cuales fueron etiquetados, empacados en bolsas plásticas y transportados en frío al Laboratorio de biotecnología y Fisiología Vegetal, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Cada fruto fue lavado con jabón comercial, desinfectado con cloro al 5% (3 min) y secado con paños estériles. El peso de fruto se obtuvo con balanza digital (OMMEGA 5kg), los diámetros se midieron con vernier digital (TRUPER 6"/150mm).

Extracción y Análisis de Semillas

Las semillas se extrajeron mediante un corte superficial (exocarpo-mesocarpo) en la parte transversal girando ambas partes en dirección opuesta para no dañar las semillas. Posteriormente, se eliminó el mucílago sumergiéndolas en solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (5 g/L) y luego en Timsen® (1 g/L) para desinfección. Finalmente, se enjuagaron con agua desionizada y se mantuvieron en inmersión por 24 h.

De cada portainjerto, se seleccionaron 100 semillas viables para evaluar:

- 1) Morfología: Forma, color del tegumento y chalaza (según descriptores del IPGRI, 1999).
- 2) Tamaño (largo y ancho en mm): Medido con escala milimétrica con microscopio digital (1000x).
- 3) Poliembrionía: Clasificada como monoembrionica (0) o poliembrionica (1), siguiendo el sistema binario de Kishore et al. (2012)
- 4) Número y disposición de embriones: Para lo cual se disectaron semillas para separar y contar los embriones (Figura 1).



Figura 1. Imágenes de semilla de Citrange Rusk con tegumento externo (A), tegumento interno (B), sin tegumento (C) y Embriones separados para conteo directo (D).

Análisis Estadístico

Se utilizó diseño completamente al azar, utilizando pruebas no paramétricas de Kruskal- Wallis para comparar las variables morfológicas entre portainjertos y ciclos. Las diferencias significativas se determinaron mediante la prueba de comparación de medias de Conover ($\alpha = 0.05$) con el software Statistical Analysis System (SAS® versión 9.4).

RESULTADOS

Características morfométricas. En el ciclo 2022-2023, C. Swingle (154.8 g), 'Standard Sour' (143.0 g) y L. 'Volkameriano' (139.0 g), fueron iguales entre ellos, pero superiores estadísticamente a los demás portainjertos. Para el segundo periodo 'Volkameriano' incrementó su peso (180.83 g, +30.1%), al igual que C. 'Swingle' (161.24 g, +4.2%), pero en menor proporción, fueron iguales estadísticamente y superiores a los demás portainjertos, pero iguales a Standard Sour (147.08 g, +2.9%) (Figura 2), está respuesta concuerda con lo mencionado en trabajos previos donde se reporta que las características morfológicas varían en cada año de cosecha. Siendo Swingle un portainjerto que presenta mayor tamaño de fruto seguido de L. Volkameriano y M. Amblycarpa con el menor tamaño (Andrade-Rodríguez, et al., 2003).

Con respecto al número de semillas, en el ciclo 2022-2023, Swingle fue superior estadísticamente a todos los portainjertos, pero igual al Estándar Sour. En el ciclo 2022- 2023, Standar Sour fue superior estadísticamente a todos los portainjertos, pero igual a Volkameriano y Swingle. En ambos ciclos, los portainjertos con menor número de semillas fueron: Rusk, Sun Chu Sha y Amblycarpa (Figura 3), lo que pone en evidencia las diferencias entre portainjertos y la importancia de conocerlas.

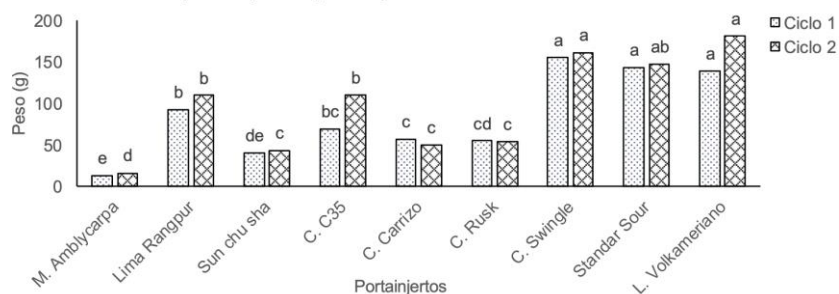


Figura 2. Peso de fruto en nueve portainjertos cítricos en dos ciclos. Ejido los Migueles Cazonos, Ver. Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

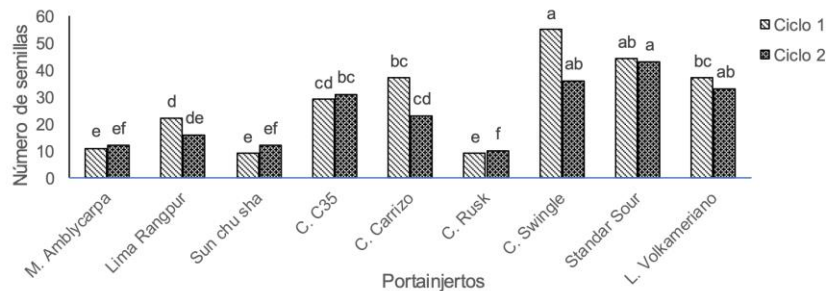


Figura 3. Número de semillas por fruto en nueve portainjertos cítricos, en dos ciclos. Ejido los Migueles, Casones. Ver. Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Poliembrionía. Los cuatro portainjertos trifoliados presentaron más de 95% de poliembrionía en ambos ciclos. En 2022-2023, C35 y Swingle fueron superiores estadísticamente a los demás portainjertos, pero iguales a Sun chu sha, Carrizo, Rusk y Stándar Sour. En el segundo ciclo, los cuatro portainjertos trifoliados y Standar Sour, fueron superiores estadísticamente a los demás portainjertos. Evidenciado que los trifoliados tienen mayor porcentaje de poliembrionía y es un aspecto deseable para este tipo de estudios (Cuadro 1). Mientras que, Volkameriano y Amblycarpa, presentan menor poliembrionía y posiblemente tengan mayor variabilidad en campo, este aspecto no es favorable para los viveristas (Andrade et al., 2003).

Cuadro 1. Porcentaje de poliembrionía en semillas de nueve portainjertos cítricos, durante dos ciclos. Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Portainjerto	Ciclos productivos	
	2022-2023	2023-2024
M. Amblycarpa	89 ± 2 bcd	83 ± 3 bc
Lima Rangpur	88 ± 2 cd	92 ± 3 ab
Sun chu sha	95 ± 2 abc	91 ± 3 ab
Citrango C35	100 ± 2 a	98 ± 3 a
Citrango Carrizo	97 ± 2 abc	95 ± 3 a
Citrango Rusk	98 ± 2 ab	100 ± 3 a
C. Swingle	100 ± 2 a	99 ± 3 a
Standar Sour	98 ± 2 ab	95 ± 3 a
L. Volkameriano	85 ± 2 d	78 ± 3 c

De acuerdo con Robles- Gonzales, et al., (2024), los dos métodos más eficientes para determinar el promedio de embriones por semilla son: germinación in vitro y conteo directo de embriones, así como los porcentajes de semillas poliembriónicas. Al realizar conteo de embriones, Swingle con 21 embriones por semilla, fue superior estadísticamente a los demás portainjertos en el ciclo 2022-2023; mientras que, en el segundo, Swingle y Rusk, superaron estadísticamente a los demás portainjertos. En ambos ciclos, Volkameriano, Standar Sour y Amblycarpa, presentaron menor número de embriones (Cuadro 2), Martínez–Ochoa, et al. (2022) observaron diferencias entre ciclos, por lo que se deben considerar las condiciones climáticas que se presentaron entre ambos periodos. Así mismo se observó relación inversamente proporcional entre el tamaño del frutó con el número

de embriones, coincidiendo con lo reportado por Andrade- Rodríguez, et al., (2003), en tres portainjertos cítricos. Lo que sugiere que frutos más grandes al tener mayor gasto de energía, presenta semillas con menor número de embriones, esta información es relevante para seleccionar frutos de acuerdo al objetivo establecido.

Cuadro 2. Número de embriones por semilla, por conteo directo, en nueve portainjertos cítricos dos ciclos productivos. Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (p≤0.05).

Portainjerto	Ciclos productivos	
	2022-2023	2023-2024
M. Amblycarpa	89 ± 2 bcd	83 ± 3 bc
Lima Rangpur	88 ± 2 cd	92 ± 3 ab
Sun chu sha	95 ± 2 abc	91 ± 3 ab
Citrange C35	100 ± 2 a	98 ± 3 a
Citrange Carrizo	97 ± 2 abc	95 ± 3 a
Citrange Rusk	98 ± 2 ab	100 ± 3 a
C. Swingle	100 ± 2 a	99 ± 3 a
Standar Sour	98 ± 2 ab	95 ± 3 a
L. Volkameriano	85 ± 2 d	78 ± 3 c

CONCLUSIONES

Los portainjertos trifoliados presentan mayor porcentaje de poliembrionía y número de embriones por semilla, por lo que pueden ser considerados como apropiados para este tipo de estudios. Mientras que, Volkameriano y Amblycarpa al tener menor porcentaje de poliembrionía, pueden presentar mayor variabilidad al establecerse en campo. Así mismo, se observó relación inversa en tamaño de fruto y número de embriones en la semilla.

AGRADECIMIENTOS:

SECIHTI

Colégio de Postgraduados (CP) Vivero Cazonas

LITERATURA CITADA

Andrade-Rodríguez, M., Villegas-Monter, A., García-Velázquez, A. (2003). Características morfológicas del fruto y poliembrionía de tres portainjertos de cítricos. Revista Chapingo Serie Horticultura, 9(2):255-263.

CEIEG. (18 de junio 2025). Centro de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz |<http://ceieg.veracruz.gob.mx>

Martínez-Ochoa, E. D. C., Villegas-Velázquez, I., Alarcón-Zúñiga, B., González- Hernández, V. A., Villegas-Monter, A. (2021). Polyembryony in citrus: does the largest embryo in the seed develop a nucellar seedling? Scientia Agricola, 79(6)

Robles-González, M. M., Carrillo-Medrano, S. H., Manzanilla-Ramirez, M. A., & Medina- Urrutia, V. M. (2024). Methods for estimating the level of polyembryony in Mexican lime and Italian lemon seeds. Revista Chapingo Serie Horticultura, 30(2) 55-69.

SIAP-SAGARPA (15 de noviembre 2023). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | gob.mx (www.gob.mx)

Sánchez-Damas, J. J., E. Avitia-García, A. Castillo-González, A. Villegas-Monter, y T. Corona-Torres. (2006). Estudio Anatómico de la Poliembrionía en Tres Portainjertos de Cítricos. (UACH, Ed.) Revista Chapingo Serie Horticultura, 12(2):145-152.

Zhang, S., Liang, M., Wang, N., Xu, Q., Deng, X., Chai, L. (2018) Reproduction in woody perennial Citrus: an update on nucellar embryony and self-incompatibility. Plant Reproduction 31: 43–57.

RESPUESTA A LA CALLOGÉNESIS DE EXPLANTES FOLIARES DE GENOTIPOS DE PAPA

Diana Yatzil Reyes-Araujo¹, Martha Elena Mora-Herrera^{2*}, Ebandro Uscanga-Mortera¹, Carlos Trejo¹,
Humberto Antonio López-Delgado³, José Rodolfo García-Nava¹

¹Posgrado en Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. C.P. 56264.

²Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal, Centro Universitario Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México, Tenancingo, México.

³Laboratorio de Fisiología y Biotecnología. Programa de Papa INIFAP. Conjunto SEDAGRO Metepec, Estado de México.

Autor de correspondencia: marthaelenam@gmail.com

PALABRAS CLAVE: *Solanum tuberosum*, friabilidad, organogénesis.

INTRODUCCIÓN

En las políticas del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2025–2030 para impulsar la autosuficiencia alimentaria en concordancia con el objetivo de Desarrollo sostenible “Hambre cero” (ODS 2), se promueve “la siembra” “el uso” de los cultivos de especies vegetales con alto valor nutricional, entre ellos la papa (*Solanum tuberosum* L.) (Gobierno de México, 2024). En este contexto, el Programa Nacional de Papa, coordinado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), trabaja en el desarrollo de nuevas variedades nacionales con tolerancia a enfermedades, eficiencia en el uso de recursos y adaptación a condiciones locales (INIFAP, 2023).

Una de las principales fortalezas de la papa es su amplia diversidad genética, la cual representa un recurso fundamental para los programas de mejoramiento. La existencia de genotipos con características agronómicas relevantes como: genotipos tolerantes a estrés, genotipos con potencial de rendimiento superior y genotipos con calidad nutricional, permiten seleccionar y desarrollar variedades para diferentes regiones y condiciones ambientales. En el mejoramiento genético, la integración de técnicas biotecnológicas a los esquemas clásicos de investigación como el cultivo de tejidos vegetales, permite acelerar el desarrollo de nuevas variedades sobresalientes (Huertas & Ligarreto, 2001).

Entre estas técnicas, la organogénesis indirecta, que involucra la fase de callogénesis destaca por su capacidad para inducir variación somaclonal en menor tiempo, en comparación con las técnicas tradicionales. No obstante, la aparición de dicha variación está influenciada por diversos factores como el genotipo específico, la edad y origen del explante, entre otros (Jain, 2001).

OBJETIVO

Evaluar la respuesta a la callogénesis de explantes foliares de variedades y clones avanzados “generados” de papa (*Solanum tuberosum* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal del Centro Universitario UAEM Tenancingo, Estado de México.

Se utilizaron plantas in vitro libres de virus de las variedades: Alpha, Fianna, Snowden (de origen extranjero) Citlali (de origen nacional) y; dos clones avanzados generados: 98-38 y 6760004 (de origen nacional) proporcionados por el Laboratorio de Fisiología-Biotecnología del Programa Nacional de Papa INIFAP. Discos foliares de 5 mm de diámetro incluyendo la vena media, se colocaron en tubos de ensayo de 100 x 13 mm con 2 mL con la superficie abaxial en contacto con el medio sólido MS (Murashige y Skoog, 1962) suplementado con ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D, auxina) y 6-bencilaminopurina (BAP, citocinina) de acuerdo con los tratamientos descritos en el Cuadro 1. El experimento se mantuvo en un fotoperiodo 16 horas, a una temperatura promedio de 20 ± 1 °C.

Cuadro 1. Tratamientos: Medio sólido de cultivo Murashige y Skoog (1962) suplementado con reguladores del crecimiento vegetal para la inducción al callo en explantes foliares de genotipos de *Solanum tuberosum* L.

Tratamiento	Reguladores del crecimiento (mg L ⁻¹)	
	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)	6-Bencilaminopurina (BAP)
Control	0	0
T1	1	0.5
T2	2.5	0.5
T3	3	0.5
T4	3	1

Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar, con 3 repeticiones por tratamiento con 10 explantes cada repetición. A los 60 días de cultivo se realizó una evaluación cualitativa de las características del callo, específicamente la textura (friabilidad o no friabilidad) y el color; así como la evaluación cuantitativa del peso fresco (g) utilizando una balanza analítica.

Análisis estadístico de los datos

Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA), y una comparación de medias Tukey, con un nivel de confianza de 95%, utilizando el software estadístico InfoStat versión 2008.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Textura y color: Se observó una respuesta diferencial en la inducción de callo de acuerdo con el genotipo evaluado durante la callogénesis aún en el mismo tratamiento. En las variedades y clones, los callos no friables (compactos) fueron sólidos y duros al tacto, de color verde; en contraste, los callos friables fueron suave y de fácil fragmentación al tacto y de color blanquecino cremoso, excepto los de la variedad Citlali, los no friables fueron de coloración morada y los friables de coloración blanquecina morada (Figura 1). Estas diferencias están asociadas directamente a las

características del genotipo, debido a que en todos los materiales los callos conservaron sus características típicas (Neumann et al., 2020).

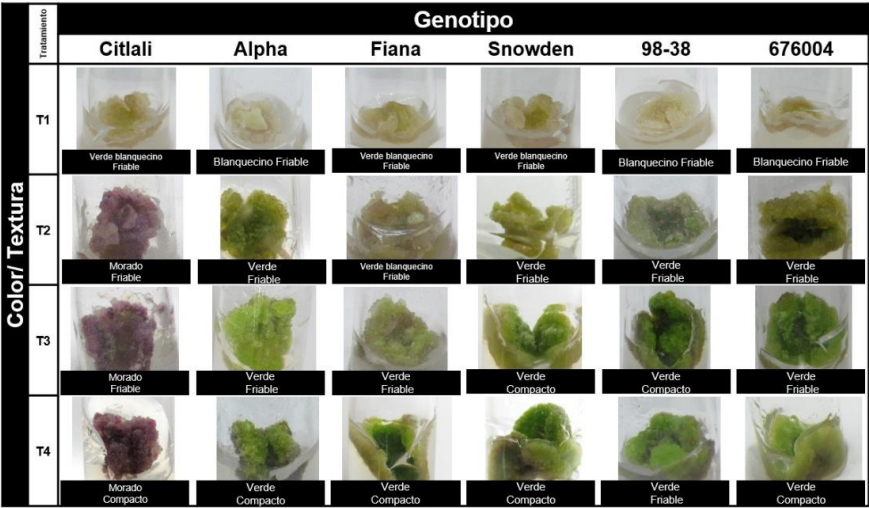


Figura 1. Callos friables y no friables (compactos) de cuatro variedades y dos clones avanzados de papa cultivados en 2,4-D y BAP. Los explantes de los tratamientos testigo no formaron callos.

El peso fresco de los callos entre los genotipos estuvo determinado por la combinación de reguladores del crecimiento. En el clon avanzado 676004 y las variedades Citlali y Snowden, los callos alcanzaron sus valores mayores de peso en el tratamiento cuatro con respecto a los del resto de los tratamientos. En el clon avanzado 98-38 del tratamiento más efectivo fue el tratamiento dos. Por su parte, las variedades Fianna y Alpha formaron callos de peso mayor en los tratamientos tres y cuatro (Cuadro 2). Los resultados mostraron que la combinación del 2,4-D y la BAP generó callos con características dependientes de cada genotipo (Figura 2). Los callos tienen la capacidad de para continuar con los procesos morfogénicos (George et al., 2008). Esto evidencia una respuesta diferencial en la callogénesis entre los genotipos durante los procesos morfogénicos in vitro, crucial para etapas posteriores de regeneración

Es necesario considerar que la división y el crecimiento celular, son procesos fuertemente influenciados por los reguladores del crecimiento, el genoma de la especie, la variedad y otros factores como lo indica Jain (2001).

Cuadro 2. Peso fresco (g) de los callos provenientes de explantes foliares de genotipos de *Solanum tuberosum* L. Falta el peso del tratamiento control, aunque haya sido 0.0000 (no generó callo). Letras iguales dentro de cada columna indican que no hay diferencia significativa con un nivel de confianza del 95%. *Se omite el tratamiento control ya que el explante no mostro formación de callo

	Variedad					
	676004	Citlali	98-38	Fianna	Alpha	Snowden
Tratamiento 1	0.0427 ^A	0.0615 ^A	0.0699 ^A	0.0519 ^A	0.0511 ^A	0.0619 ^A
Tratamiento 2	0.0688 ^B	0.0692 ^B	0.0941 ^B	0.0786 ^B	0.0649 ^B	0.0674 ^A
Tratamiento 3	0.0687 ^B	0.0617 ^A	0.0706 ^A	0.0820 ^B	0.0785 ^C	0.0693 ^A
Tratamiento 4	0.0812 ^C	0.0816 ^C	0.0684 ^A	0.0857 ^B	0.0771 ^C	0.0868 ^B

CONCLUSIÓN

Los explantes foliares de las variedades Alpha, Fianna, Snowden y Citlali, y de los clones avanzados 98-38 y 6760004 de papa presentaron una respuesta diferencial a la combinación del medio Murashige y Skoog, el 2,4-D y la BAP durante la callogénesis.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Al SECIHTI por la Beca Nacional para Estudios de Posgrado, al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, al Centro Universitario UAEM Tenancingo y al INIFAP sitio experimental Metepec.

LITERATURA CITADA

- George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G.J. (2008). Plant propagation by tissue culture (3rd ed.). Springer.
- Gobierno de México. (2024). Programa Nacional de Semillas 2024–2030. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Huertas, J., & Ligarreto, G. A. (2001). Clasificación de germoplasma de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) por parámetros de calidad para la industria de pasabocas. *Agronomía Colombiana*, 18(1-3), 79-87.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2023). SEGOB | 09 de marzo de 2023. Variedades de papa con tolerancia a enfermedades (Consultado 9 de abril 2025).
- Jain, S. M. (2001). Tissue culture-derived variation in crop improvement. *Euphytica*, 118, 153-166.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473–497.
- Neumann, KH., Kumar, A., Imani, J. (2020). Callus Cultures. In: *Plant Cell and Tissue Culture – A Tool in Biotechnology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49098-0_3

RESPUESTA DE ACCESIONES CHAYOTE (*Sechium* spp.) EN CONDICIONES DE CULTIVO *IN VITRO*

Gabriela Sandoval-Cancino^{1*}, Carlos Iván Cruz-Cárdenas¹, Marco Aurelio Aragón-Magadán¹, Carlos Hugo Avendaño-Arrazate¹, Luis Alberto Gómez-Reyez¹, Jorge Cadena Iñiguez², Esmeralda Judith Cruz-Gutiérrez¹, Marco Antonio Ramírez-Mosqueda¹.

¹Centro Nacional de Recursos Genéticos, INIFAP.

²Colegio de Postgraduados – Campus San Luis.

*Autora de correspondencia: sandoval.gabriela@inifap.gob.mx.

PALABRAS CLAVE: chayote, cultivo *in vitro*, accesiones.

INTRODUCCIÓN

El chayote (*Sechium* spp.), perteneciente a la familia Cucurbitaceae, es una hortaliza de gran importancia agroalimentaria en Mesoamérica. Las accesiones de chayote representan una valiosa reserva genética para la mejora del cultivo, ya que poseen características como tolerancia a estrés biótico y abiótico, además de una amplia diversidad morfológica y bioquímica (Zayas, M., 2019). Sin embargo, su conservación y aprovechamiento están limitados por su bajo porcentaje de germinación y susceptibilidad a plagas y enfermedades en condiciones *ex situ*. El cultivo *in vitro* representa una herramienta eficaz para la propagación y conservación de este germoplasma (Rodríguez, J. et al. 2016). Esta técnica permite obtener plantas sanas, libres de patógenos y con alta tasa de multiplicación en un espacio reducido. No obstante, la eficiencia del establecimiento depende del genotipo, el medio de cultivo, y la respuesta a la oxidación y contaminación (Gutiérrez-Díez, A. et al., 2020).

OBJETIVO

Evaluar la respuesta de accesiones de chayote en condiciones de cultivo *in vitro* con base en su supervivencia, oxidación y contaminación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 20 accesiones de *Sechium* spp. recolectadas en regiones del sureste mexicano. Se utilizó como explante entrenudos de frutos germinados, los cuales fueron desinfectados mediante una solución de hipoclorito de sodio al 1.5% durante 12 minutos, seguido de tres enjuagues con agua destilada estéril.

Los explantes se cultivaron en frascos de vidrio con medio MS (Murashige y Skoog, 1962) suplementado con 30 g/L de sacarosa, 0.7% de agar y sin reguladores de crecimiento, ajustando el pH a 5.7. Los cultivos se mantuvieron en cámara de crecimiento a 24 ± 2 °C, fotoperiodo de 16 horas luz y $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidad luminosa.

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar. Las variables evaluadas a los 30 días fueron: porcentaje de supervivencia, respuesta (brotación), oxidación y contaminación.

Análisis estadístico de los datos

Los datos fueron analizados mediante ANOVA y prueba de Duncan ($p \leq 0.05$) con el software R studio.

RESULTADOS

Las accesiones mostraron diferencias significativas en todas las variables evaluadas. La supervivencia fue alta en la mayoría de las accesiones, destacando 387-17, Albus dulcis, G633-M12, 387-M11, Perla negra Replica 2, 633-M8 Planta 2, Sechium compostum Planta 1, Sechium compostum Planta 2 con 100%. La accesión 387-M16 presentó la supervivencia más baja con apenas 23.08%, lo cual puede asociarse a un mayor daño oxidativo inicial y sensibilidad a las condiciones de cultivo.

Respecto a la respuesta (brotación), once accesiones lograron un 100% de desarrollo, lo que sugiere un buen potencial para propagación clonal. Las accesiones con menor respuesta fueron 387-M16 (15.38%) y 387 verde claro (61.11%).

Cuadro 1. Respuesta de 20 accesiones de Chayote al establecimiento in vitro.

Genotipo	Supervivencia (%)	Respuesta (%)	Oxidación (%)	Contaminación (%)
Nigrum xalapensis	88.89 a	66.67 bc	21.11 bcd	0 d
633-M14	77.78 a	77.78 abc	6.56 cd	0 d
387-17	100 a	100 a	2.86 cd	14.29 bcd
Albus dulcis CH	66.67 a	66.67 bc	36.67 b	33.33 abcd
Albus dulcis G	100 a	100 a	23.75 bcd	50 abc
633-M12	100 a	100 a	33.13 bc	0 d
387-M11	100 a	100 a	5 cd	9.09 cd
387-M16	23.08 b	15.38 d	61.69 a	53.85 ab
387 verde claro	94.44 a	61.11 c	20.22 bcd	5.56 d
Perla negra Replica 1	72.73 a	100 a	4.82 cd	36.36 abcd
Perla negra Replica 2	100 a	100 a	15.85 bcd	0 d
Nigrum spinosum 300	79.17 a	95.83 ab	29.67 bcd	33.33 abcd
Nigrum spinosum	72.22 a	88.89 abc	28.33 bcd	27.78 abcd
Perla negra 1001	84.62 a	76.92 abc	17.69 bcd	61.54 a
653	95 a	100 a	14.15 bcd	0 d
633-M8 Planta 1	84.21 a	94.74 ab	15.21 bcd	15.80 bcd
633-M8 Planta 2	100 a	100 a	7 bcd	11.76 cd
633-M8 Planta 3	83.33 a	100 a	16 bcd	8.33 d
Sechium compostum Planta 1	100 a	100 a	5.67 cd	0 d
Sechium compostum Planta 2	100 a	100 a	0 d	33.33 abcd

La oxidación fue una de las principales limitantes observadas, siendo especialmente alta en 387-M16 (61.69%) y Albus dulcis CH (36.67%), lo cual afecta directamente la regeneración y viabilidad del tejido. Por el contrario, accesiones como Sechium compostum Planta 2 y 387-17 presentaron valores muy bajos (0% y 2.86%, respectivamente), indicando una mayor tolerancia al estrés oxidativo.

En cuanto a contaminación, la mayoría de las accesiones mostraron niveles bajos o nulos, destacando 11 accesiones con 0% de contaminación. Sin embargo, Perla negra 1001 y 387-M16 presentaron niveles preocupantes de 61.54% y 53.85%, respectivamente, lo cual limita su utilidad sin protocolos específicos de descontaminación.

Estos resultados evidencian que existe una variabilidad importante entre genotipos en cuanto a su respuesta al cultivo in vitro. Las accesiones *Sechium compostum*, 633-M12, 387-17, y 387-M11 mostraron un alto potencial para programas de conservación y mejoramiento genético debido a su excelente respuesta general.

CONCLUSIONES

El establecimiento in vitro de accesiones de *Sechium* spp. es factible, pero está altamente influenciado por el genotipo. Accesiones como 633-M12, *Sechium compostum* y 387-17 presentaron alta supervivencia, brotación y baja oxidación, lo que las convierte en candidatas ideales para protocolos de propagación y conservación. Se requiere estandarizar protocolos específicos para accesiones con alta oxidación o contaminación.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Agradecemos al Dr. Jorge Cadena Iñiguez por proporcionar material vegetal y a la fuente financiera INIFAP.

LITERATURA CITADA

- Gutiérrez-Díez, A. et al. (2020). Estrategias para el control de oxidación fenólica en cultivo in vitro de Cucurbitáceas. *Biotecnología Vegetal*, 20(2), 35–41.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473–497.
- Rodríguez, J. et al. (2016). Conservación de germoplasma silvestre de chayote mediante encapsulación. *Agrociencia*, 50(3), 215–223.
- Zayas, M. (2019). Propagación in vitro del chayote (*Sechium edule*). *Revista Mexicana de Biotecnología*, 24(1), 15–22.

RESPUESTA *IN VITRO* DE DIFERENTES CULTIVARES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) CON IMPORTANCIA AGROAZUCARERA EN MÉXICO

Gabriela Sandoval-Cancino^{1*}, Samuel Cortez-Figueroa^{1, 2}, Carlos Iván Cruz-Cárdenas¹, Marco Aurelio Aragón-Magadán¹, Carlos Hugo Avendaño-Arrazate¹, Liliana Carolina Córdova-Albores², Esmeralda Judith Cruz-Gutiérrez¹, Marco Antonio Ramírez-Mosqueda¹, Luis Alberto Gómez-Reyes¹.

¹Centro Nacional de Recurso Genéticos. Boulevard de la Biodiversidad 400 Tepatitlán de Morelos Jal.

²Universidad de Guadalajara, CUSur. Ciudad Guzmán, Jal.

*Autora de correspondencia: sandoval.gabriela@inifap.gob.mx.

PALABRAS CLAVE: Micropropagación, caña de azúcar, antioxidantes.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es una planta esencial para la producción de azúcar y otros derivados. En México, la biotecnología ha tenido un papel fundamental en el perfeccionamiento de su cultivo, mejorando la calidad de las plantas y aumentando la eficiencia productiva (Caamal et al., 2014). El desarrollo de nuevos cultivares han aportado una extensión del cultivo de caña de azúcar permitiendo que la mayoría de cultivares de caña de azúcar se desarrollaron a partir de variedades nobles (*Saccharum officinarum*) y variedades silvestres (*Saccharum* ssp), gracias a la realización de cruza y retrocruzas se ha dado el mejoramiento genético creando nuevos cultivares para diferentes intereses humanos, ejemplo de ellos son cultivares con alta producción de sacarosa para la industria agroazucarera, reduciendo las fibras haciéndolas principalmente tener mayor resistencia a plagas y enfermedades, eso enfocada mayormente a la producción de azúcar y derivados de la sacarosa.

Tomando en cuenta la importancia de las variedades de caña, surge la necesidad de su conservación. La conservación *in vitro* de tejido vegetal es empleada para la conservación *ex situ* de germoplasma de especies recalcitrantes y de propagación vegetativa de alta importancia; sin embargo, para poder llevar dicha conservación, se requiere generar protocolos especie-específico, por lo cual se requiere investigar las condiciones específicas para conservar *in vitro*.

OBJETIVO

Evaluar la respuesta de 10 diferentes cultivares de caña de azúcar en condiciones de cultivo *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal: El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de Conservación *in vitro* y criopreservación de tejido vegetal del Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) perteneciente al Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP). Los diez cultivares evaluados forman parte de la Colección *ex situ* de tejido vegetal, localizada en el laboratorio donde se llevó a cabo el experimento.

Medios de cultivo: El medio que se utilizó fue MS (Murashige & Skoog, 1962) adicionado con vitaminas, 2.5 g/L de Phytigel, 30 g/L de sacarosa, 0.5 mL/L de azul de metileno y 0.5 g/L de carbón activado con pH de 5.7.

Condiciones de cultivo: Las condiciones fueron en fotoperiodo de 16 horas luz, con una temperatura de 24 ± 2 °C.

Diseño experimental

Se estableció un diseño completamente al azar. Las variables a evaluar fueron porcentaje de supervivencia, oxidación y contaminación de los explantes. Se realizaron evaluaciones y cambio de medio de cultivo cada 30 días.

Análisis estadístico de los datos

Con los datos derivados de la investigación se hizo un análisis de varianza con una prueba de comparación de medias Duncan ($p \leq 0.05$) con el software R studio.

RESULTADOS

El análisis señaló que durante los 30 primeros días el cultivar que obtuvo significativamente menor supervivencia fue Mex92-03 con un 89.5%, al día 60 el que presentó diferencias significativas fue el cultivar LTMex-93354 con una supervivencia de 78.5% e igual manera a los 90 días, en el análisis de los 120 días el cultivar que presentó menor supervivencia fue MexSFC95-46.

En las posteriores tomas de muestras se obtuvo diferencias significativas fue Mex57-473 con un 84% de supervivencia en la última evaluación el cultivar con menor supervivencia fue el Mex96-60 con un 74% media, el cultivar con mejor supervivencia fue ICPMex92-207 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Respuesta de diferentes cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) bajo condiciones *in vitro*.

SUPERVIVENCIA						
Cultivar	30	60	90	120	150	180
Mex91-117	100 a*	89.28 abc	89.3 ab	96.5 a	92.70 a	98 a
Mex96-290	100 a	89.28 abc	89.3 ab	97 a	100 a	100 a
LTMex93-354	100 a	78.5c	78.5 b	100 a	95.23 a	95.13 a
MexSFC95-46	100 a	84 bc	84 ab	71.5 c	99 a	100 a
Mex57-473	98 ab	85 bc	85 ab	89.5 b	84.05 b	81 b
Mex92-03	89.50 b	95.31 ab	95.3 ab	99 a	99.1 a	100 a
ICPMex92-1420	100 a	100 a	100 a	100 a	99 a	100 a
Mex96-60	95.83 ab	95 ab	95 ab	98 a	99 a	74.19 b
MotzMex92-207	95.83 ab	100 a	100 a	97.5 a	100 a	99 a
Mex98-64	100 a	91.25 abc	92 ab	99.5 a	99.16 a	99.1 a
OXIDACIÓN						
Variedad	30	60	90	120	150	180
Mex91-117	23 ab*	11 e	11 c	15.5 ab	17 bcd	11.42 bc
Mex96-290	8.4 c	11 e	11 c	11.67 ab	21 bc	20.9 ab
LTMex93-354	25 ab	27 ab	27 abc	18.5 ab	15.5 bcd	15.9 bc
MexSFC95-46	17 bc	16.5 bcde	16 bc	21.5 a	8.33 d	13.1 bc
Mex57-473	14.60 bc	26 abc	26 abc	18 ab	32.5 a	25.42 a
Mex92-03	31.25 a	23.43 abcd	23.5 abc	19.5 a	18.51 bcd	24.08 a
ICPMex92-1420	30.9 a	12 de	12 c	8.5 b	11 cd	12.7 bc
Mex96-60	35.41 a	25 abc	25 abc	16 ab	22.3 b	29.03 a
MotzMex92-207	25 ab	14.1 cde	14 bc	13 ab	12 bcd	3.6 c
Mex98-64	23 ab	30 a	33.5 a	12.5 ab	18.8 bcd	13.3 bc
CONTAMINACIÓN						
Variedad	30	60	90	120	150	180
Mex91-117	0 b*	0 c	0 b	5 b	0 c	8.6 b
Mex96-290	0 b	14.5 b	14.5 b	40 a	83.5a	83.5a
LTMex93-354	25 a	40.7 a	41 a	9.5 b	0 c	0 c
MexSFC95-46	0 b	0 c	0 b	0 b	0 c	0 c
Mex57-473	0 b	0 c	0 b	0 b	0 c	0 c
Mex92-03	0 b	0 c	0 b	0 b	0 c	3.7 bc
ICPMex92-1420	8.33 b	0 c	0 b	0 b	7.01 bc	0 c
Mex96-60	0 b	0 c	0 b	0 b	16.21 b	0 c
MotzMex92-207	0 b	0 c	0 b	0 b	2 c	7.14 bc
Mex98-64	0 b	0 c	0 b	0 b	0 c	0 c

*Los valores con la misma letra en la misma columna y en la misma variable son iguales de acuerdo con la prueba de Duncan a una $P < 0.05$.

El cultivar que durante los análisis presentó mayores diferencias significativas por oxidación fue Mex 96-60 con 35.5% en el conteo día 30, y 22.5% en conteo del día 150 y 29% al día 180, por otro lado, el que mejor controló la exudación de fenoles fue el cultivar Mex 96-290 con oxidaciones menores a 21% en el día 60 siendo esta la más alta y la más baja del día 30 con un 8.5%, todos los demás cultivares no tuvieron diferencias entre sí.

El cultivar que obtuvo diferencias referente a los demás con alta contaminación fue Mex 96-290 que desde la toma del día 60 hasta la última del día 180 tuvo una alta cantidad de contaminación con rangos desde 14.5 % en los días 60 y 90 hasta 83.5 en las tomas de los días 150 y 180 por patógenos principalmente bacterias, por otro lado el cultivar que durante las primeras tomas de muestras obtuvo alta cantidad de contaminación fue ICPMex93-354 con una incidencia alta de 41%, bajando la incidencia en los días posteriores, 3 cultivares no tuvieron ninguna contaminación los cuales fueron Mex 98-64, Mex 57-473 y MexSFC95-46.

CONCLUSIONES

El cultivar que tuvo mejor respuesta en condiciones in vitro fue Mex57-473 teniendo buena respuesta al medio, en supervivencia el mejor resultado fue obtenido por ICPMex 92-207 con menos muertes por frascos y sin diferencias en los otros análisis. En general, se obtuvieron diferentes respuestas en condiciones in vitro en cultivares pertenecientes a la misma especie, por lo que resulta evidente la necesidad de investigación para generar protocolos genotipo-específicos para obtener la mejor respuesta posible.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Agradecimiento a la fuente financiera INIFAP.

LITERATURA CITADA

- Balero, A. V., Orellana, P., García, L., Veitia, N., Bermudez-Caraballosa, I., García, L. R., & Padrón, Y. (2002). Efecto de la fenolización sobre explantes de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido var. Sp 70-1284) en la formación de callos. *Biotecnología Vegetal*, 2(1).
- Caamal-V, J. H. Bello-B, J. J. Et al (2014). Micropropagación de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). (1^{ed.})
- Kumar, B. (2022). Seed setts, single bud plantlets and tissue culture techniques for seed multiplication in sugarcane and seed standard. *Medicon Agriculture and Environmental Sciences*, 3(2), 03-12.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3).
- Villegas, A. B., Armas, P. M., Jaramillo, D. N., Rodríguez, E. A. T., Kosky, R. G., Noguera, A. S., & Castagnaro, A. P. (2021). Establecimiento de un banco de plantas madre de caña de azúcar en condiciones semicontroladas para la propagación in vitro. *Biotecnología Vegetal*, 21(1), 53-61.

LAS NANOPARTÍCULAS DE SILICIO AFECTAN POSITIVAMENTE EL ENRAIZAMIENTO *IN VITRO* DE VANILLA (*VANILLA PLANIFOLIA* JACKS.) EN BIORREACTORES RITA®

Marco A. Ramírez-Mosqueda^{1*}, Esmeralda J. Cruz-Gutiérrez¹, José Luis Aguirre-Noyola¹, Gabriela Sandoval-Cancino¹, Luis A. Gómez-Reyes¹.

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Recursos Genéticos, Blvd. de la Biodiversidad #400 Rancho las Cruces, Tepatitlán de Morelos 47600, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: marcomosqueda02@hotmail.com

PALABRAS CLAVE: nanobiotecnología, *Vanilla planifolia*, micropropagación

INTRODUCCIÓN

El uso de nanomateriales ha impactado positivamente en diferentes ciencias, entre ellas la biotecnología. Particularmente, el uso de nanopartículas (partículas de 1 y 100 nanómetros nm), ha sido utilizado en el campo del cultivo de tejidos vegetales para mejorar las características morfológicas y fisiológicas de las plantas obtenidas (Ochatt *et al.*, 2023). La vainilla (*V. planifolia* Jacks.) es una orquídea con valor comercial, ya que la vainillina se extrae de sus frutos procesados. A pesar de su importancia económica, es necesario aumentar la propagación y obtención de propágulos para el establecimiento de plantaciones comerciales (Divakaran *et al.*, 2024). La propagación convencional de la vainilla se realiza mediante esquejes obtenidos de los tallos de este cultivo. Sin embargo, esta propagación asexual no satisface la demanda de plantas propagadoras. La propagación sexual mediante la germinación de semillas es limitada debido a la baja tasa de germinación. Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias para aumentar la propagación de este cultivo. El cultivo de tejidos vegetales (CTV) permite obtener grandes cantidades de plantas en un espacio reducido y en poco tiempo, bajo condiciones de cultivo artificiales, asépticas y controladas (Cardoso, 2021).

OBJETIVO

Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las nanopartículas de silicio (SiNPs) en la micropropagación de *V. planifolia* en biorreactores RITA®.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal: plantas *in vitro* de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) previamente establecidas en el Centro Nacional de Recursos Genéticos a partir de yemas axilares fueron utilizadas como fuente de explantes.

Multiplicación del material vegetal: brotes de *V. planifolia* (1 cm de longitud) fueron transferidos a medio MS (Murashige y Skoog) adicionado con 30 g L⁻¹ de sacarosa, se agregaron 2 mg L⁻¹ de BAP (6-Bencilaminopurina) y se ajustó el pH a 5.8. Se utilizaron 2.5 g L⁻¹ de Phytigel® como agente

gelificante. Se dosificaron 35 mL de medio de cultivo en frascos de vidrio y se esterilizaron en una autoclave. Los cultivos fueron mantenidos a 24 ± 2 °C en un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 de oscuridad, con una irradiación lumínica de $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Efecto de las nanopartículas de silicio (SiNPs) en la propagación in vitro de vainilla en RITA®: brotes individuales de 1 cm de longitud de vainilla (*V. planifolia*) fueron transfirieron a medio MS (Murashige y Skoog) adicionado con 30 g L^{-1} de sacarosa, se evaluaron diferentes concentraciones de nanopartículas de silicio (Sigma Aldrich®) (SiNPs: 0, 50, 100 y 150 mg L^{-1}). El pH de los medios de cultivo fue ajustado a 5.8 ± 0.1 . Se utilizaron biorreactores RITA® (1000 mL $150 \times 130 \text{ mm}$) (VITROPIC, Saint-Mathieu-de-Trévières, Francia) con medio líquido (sin agente gelificante) y se dosificaron 250 mL de medio de cultivo en cada biorreactor. Los medios de cultivo fueron esterilizados en una autoclave a 1.5 kg cm^{-2} y 121 °C por 15 minutos. Se sembraron 10 brotes por biorreactor, contando con cinco biorreactores por tratamiento. Los cultivos fueron mantenidos a 24 ± 2 °C en un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 de oscuridad, con una irradiación lumínica de $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La frecuencia de inmersión para los biorreactores fue de 2 min cada 8 h. Al cabo de 45 días de cultivo se evaluó el número de brotes por explante, longitud de los brotes, número de hojas, número y longitud de raíces.

Análisis estadísticos: en todos los experimentos se utilizó un diseño completamente al azar. Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente con el software IBM SPSS Statistics (versión 21). Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) seguido de una prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), con el fin de saber si existe una diferencia significativa entre los tratamientos.

RESULTADOS

Al cabo de 45 días de cultivo se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Cuadro 1). No se observaron diferencias para número de brotes. Sin embargo, se observó un aumento en la longitud de los brotes con la adición de SiNPs. Brotes de 4.57 cm fueron obtenidos en 150 mg L^{-1} de SiNPs, seguido de brotes de 2.80 cm, la menor longitud de los brotes (1.72 cm) se observó en el tratamiento sin SiNPs. Para número de hojas, la adición de SiNP favoreció su incremento. 3.07 hojas por brote fueron obtenidas en 150 mg L^{-1} de SiNPs, seguido de 2.87 hojas en 100 mg L^{-1} de SiNPs. La menor cantidad de hojas se observó en el tratamiento testigo. Para número de raíces, las SiNPs favorecieron notablemente la formación de raíces *in vitro* en comparación con el tratamiento testigo. 5.07 raíces fueron observadas en el tratamiento con 100 mg L^{-1} de SiNP, seguido de 4.71 raíces en 150 mg L^{-1} de SiNPs. No se observó la formación de raíces en el tratamiento testigo. La longitud de las raíces también fue afectada positivamente con la adición de SiNPs al medio de cultivo. Raíces de 3.27 cm fueron obtenidas en 100 mg L^{-1} de SiNPs, seguido de raíces con una longitud de 2.78 cm en 150 mg L^{-1} de SiNPs.

Cuadro 1. Efecto de las nanopartículas de silicio (SiNp) en la propagación *in vitro* de vainilla en RITA® al cabo de 45 días de cultivo.

SiNPs (mg L ⁻¹)	Numero de brotes	Longitud de brotes (cm)	Número de hojas	Número de raíces (cm)	Longitud de raíces (cm)
0	3.42 ± 0.68a	1.72 ± 0.13c	1.56 ± 0.21b	0.00 ± 0.00b	0.00 ± 0.00c
50	4.78 ± 0.55a	2.24 ± 0.37cb	2.13 ± 0.24ab	4.28 ± 0.55a	2.26 ± 0.29b
100	4.00 ± 0.37a	2.80 ± 0.78ab	2.87 ± 0.39ab	5.07 ± 0.56a	3.27 ± 0.23a
150	3.78 ± 0.55a	4.57 ± 0.70a	3.07 ± 0.42a	4.71 ± 0.49a	2.78 ± 0.22ab

Los valores representan la media ± error estándar. Los valores seguidos de letra diferente denotan diferencias estadísticas significativas según (Tukey, $P \leq 0,05$).

CONCLUSIONES

Las nanopartículas de silicio (SiNPs) afectan positivamente el enraizamiento *in vitro* de *V. planifolia*. La adición de 100 mg L⁻¹ de SiNPs ocasiono la formación de un mayor número de raíces con una mayor longitud. Mientras que la adición de 150 mg L⁻¹ de SiNPs favorecidito la obtención de brotes con mayor longitud. Estos resultados contribuirán en los procesos de micropropagación de esta valiosa especie, para la obtención de propágulos comerciales.

LITERATURA CITADA

Cardoso JC (2021) Meta-topolins: *In Vitro* Responses and Applications in Large-Scale Micropropagation of Horticultural Crops. In: Ahmad N, Strnad M (eds) Meta-topolin: A Growth Regulator for Plant Biotechnology and Agriculture. Springer, Singapore, pp. 203-219.

Divakaran M, Suseela Bhai R, Menchaca Garcia R, Aarthi S, Devasahayam S, Nirmal Babu K, Sudarshan MR (2024) Vanilla. In: Ravindran PN, Sivaraman K, Devasahayam S, Babu KN (eds) Handbook of Spices in India: 75 Years of Research and Development Singapore: Springer Nature Singapore, pp. 2591-2685.

Ochatt S, Abdollahi MR, Akin M, Bello JB, Eimert K, Faisal M, Nhut DT (2023). Application of nanoparticles in plant tissue cultures: minuscule size but huge effects. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 155(2), 323-326.

IMPACTO DE LA DOMESTICACIÓN EN EL PERFIL METABOLÓMICO DE *SECHIAM EDULE* Y LA VARIEDAD *ALBUS MINOR*: DIFERENCIAS ENTRE ESTADO SILVESTRE Y DOMESTICACIÓN

Jorge David Cadena-Zamudio ^{1*}, Marcos Soto-Hernández ², Lucero del Mar Ruiz-Posadas ², Jorge Cadena-Iñiguez ³.

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Recursos Genéticos, Blvd. de la Biodiversidad #400 Rancho las Cruces, Tepatitlán de Morelos 47600, Jalisco, México.

²Colegio de Postgraduados, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco CP 56264, Estado de México, México

³Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Salinas de Hidalgo CP 78600, San Luis Potosí, México

*Autor de correspondencia: cadenazamudioj@gmail.com

PALABRAS CLAVE: Metabolómica, *Sechium edule*, domesticación

INTRODUCCIÓN

El uso de la metabolómica no dirigida aplicada a plantas ha impulsado avances significativos en el redescubrimiento de nuevos compuestos metabólicos con potencial biomédico y agroalimentario, que pueden funcionar como biomarcadores químicos. Estos biomarcadores están sujetos a procesos fisiológicos, evolutivos y de domesticación, los cuales modifican la composición genómico-metabólica de las plantas (Ku et al., 2020). En particular, la domesticación ha generado alteraciones sustanciales en los perfiles metabólicos de los cultivos, afectando compuestos responsables del amargor, la resistencia a plagas, así como características organolépticas clave como el color, el olor y el sabor. Este proceso de selección artificial, llevado a cabo por agricultores a lo largo de generaciones, ha influido directamente en la evolución química y genómica de diversas especies de interés agroalimentario. Dado que estos rasgos agronómicos están regulados por metabolitos secundarios, la evolución genómica de muchas plantas cultivadas ha estado estrechamente ligada a la selección basada en su composición metabólica. Estas diferencias químicas permiten la realización de estudios quimiotaxonómicos en organismos con variaciones intraespecíficas (Alseekh et al., 2021), como es el caso de *Sechium edule* (chayote). Esta especie presenta un alto grado de variabilidad intraespecífica debido a su domesticación, la influencia de nuevos ambientes y la alta recombinación genética entre sus variantes silvestres y domesticadas. Existen evidencias de que las especies silvestres de chayote poseen una mayor diversidad de metabolitos secundarios en comparación con las variedades cultivadas (Iñiguez-Luna et al., 2021), lo que resalta la importancia de estudiar estos perfiles metabólicos. En este contexto, la metabolómica se presenta como una herramienta fundamental para identificar y caracterizar rutas metabólicas diferenciadoras y biomarcadores químicos discriminantes que permitan distinguir entre plantas en estado silvestre y sus contrapartes domesticadas. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo

identificar biomarcadores químicos mediante un enfoque de metabolómica no dirigida, con el fin de caracterizar las diferencias metabólicas entre los genotipos silvestres de *Sechium edule* y la variedad domesticada *Albus minor*.

OBJETIVO

Realizar un análisis metabolómico no dirigido de los genotipos *Sechium edule* (Jacq.) Sw. accesión 653 y *Sechium edule* var. *Albus minor* accesión 261-05, con el propósito de identificar diferencias metabólicas entre su estado silvestre y domesticado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon frutos en madurez fisiológica de *Sechium edule* (accesión 653, n = 18) y *S. edule* var. *Albus minor* (accesión 261-05, n = 50). Tras el lavado y secado, los frutos se cortaron en rodajas de 0.5 cm. Considerando las diferencias en contenido de agua y consistencia, el genotipo silvestre se deshidrató en horno eléctrico a 50 °C durante dos días, mientras que el domesticado se liofilizó en el mismo periodo. Para la extracción, se utilizaron 3 g de material seco por genotipo con 10 ml de metanol grado HPLC y 20% de agua destilada (v/v). La mezcla se sonicó por 20 minutos con intervalos de descanso, se filtró y centrifugó a 5000 rpm durante 5 min a 4 °C. El sobrenadante se filtró nuevamente (filtros Titan3 Nylon 0.45 µm) y se concentró en rotavapor hasta sequedad. Posteriormente, se resuspendieron 50 mg del extracto en 1 ml de metanol con 0.1% de ácido fórmico y se filtró con acrodisco de 0.2 µm (Phenomenex). Finalmente, se inyectaron 10 réplicas biológicas por genotipo en el sistema UPLC-QTOF-MS bajo modos de ionización ESI^{+/−}, obteniendo un total de 20 réplicas por genotipo.

Diseño experimental

El diseño experimental consistió en la comparación de dos genotipos contrastantes: *S. edule* accesión 653 (silvestre) y *S. edule* var. *Albus minor* accesión 261-05 (domesticado). Para cada genotipo se analizaron 10 réplicas biológicas independientes en el sistema UPLC-QTOF-MS.

Análisis estadístico de los datos

Los datos obtenidos fueron procesados mediante el software MetaboAnalyst versión 6.0 y RStudio versión 4.3.0. Se aplicaron análisis multivariados (PCA y PLS-DA) y univariados (ANOVA de una vía) para identificar metabolitos diferencialmente abundantes. Los valores de p fueron ajustados mediante el método FDR (False Discovery Rate) con el objetivo de reducir falsos positivos y garantizar la robustez de los resultados.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos evidenciaron una clara diferencia en la composición metabólica de ambos genotipos. El análisis estadístico mediante PCA 2D (Figura 1A) mostró una separación significativa entre los genotipos con un 95% de confianza (elipse), explicando un 50.2% de la varianza total. Estos hallazgos fueron corroborados por el análisis de clúster jerárquico (Figura 1B), donde se identificaron tres clústeres diferenciados. Cada uno de ellos presentó intensidades masa/carga-tiempo de retención (m/z_{rt}) específicas para cada genotipo, además de un núcleo de m/z_{rt} compartidas. Posteriormente, se realizaron análisis de fold change (FC) para identificar biomarcadores químicos discriminantes entre genotipos. Los resultados revelaron una mayor cantidad de m/z_{rt} en el genotipo domesticado ($n = 780$) en comparación con el silvestre ($n = 419$), lo que indica una mayor diversidad metabólica en la variedad domesticada. Estos resultados se respaldan en los análisis de PCA 2D y en el mapa de calor, donde se observa una mayor dispersión de las muestras del genotipo domesticado (*Albus minor*) a lo largo de las dos dimensiones, en contraste con *S. edule*, cuyas muestras se agrupan más estrechamente. Esta diferencia sugiere una mayor correlación metabólica dentro del genotipo silvestre y una menor diversidad química en comparación con la variedad domesticada, reflejando una quimiotaxonomía más homogénea en el primero.

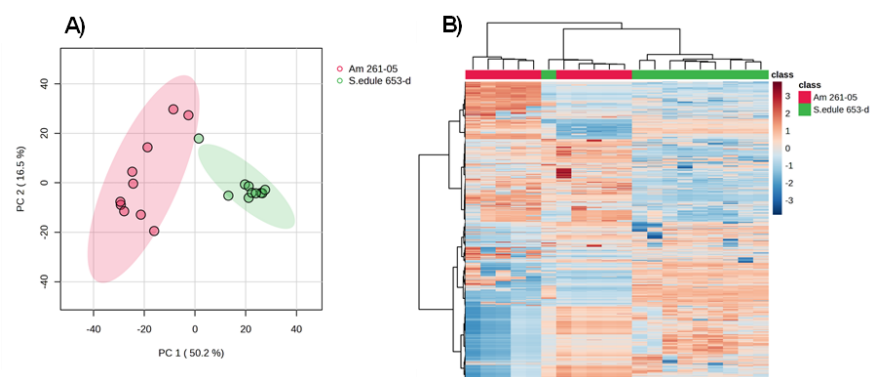


Figura 1. Análisis de PCA 2D y clúster jerárquico para la discriminación de genotipos. A) El PCA mostró una clara separación entre genotipos. B) El mapa de calor con análisis jerárquico evidenció patrones diferenciados y abundancias relativas ≥ 2 , destacando la variabilidad metabólica entre ambos genotipos

Los análisis de enriquecimiento funcional revelaron diferencias notables entre los genotipos evaluados. En *S. edule* silvestre se identificaron 20 rutas enriquecidas, la mayoría asociadas con el metabolismo secundario, mientras que en *A. minor* se detectaron 37 rutas, vinculadas principalmente con el metabolismo primario (Figura 2A, B). Estas rutas correspondieron a 53 y 50 metabolitos secundarios (MeS), respectivamente. La divergencia observada en la especificidad de las rutas metabólicas refleja con claridad el efecto de la domesticación y de la selección artificial en la composición química de las plantas, evidenciando cómo los procesos de mejoramiento han modificado la expresión y funcionalidad de los metabolitos a lo largo del tiempo. En *A. minor*, los

resultados muestran que la domesticación ha favorecido el incremento y diversificación de rutas primarias relacionadas con la biosíntesis de carbohidratos, aminoácidos esenciales y lípidos estructurales. Estos cambios responden a la necesidad de generar características agronómicas ventajosas, como el aumento del tamaño de los frutos, la acumulación de reservas energéticas, la optimización de la fisiología del crecimiento, y la mejora de la calidad nutricional. A su vez, la domesticación ha contribuido a reducir o eliminar compuestos considerados indeseables para el consumo humano, tales como alcaloides y glucósidos amargos, que afectan la palatabilidad o pueden ser tóxicos en altas concentraciones. En contraste, *S. edule* silvestre presentó una mayor diversidad de rutas y compuestos secundarios, incluyendo fenoles, flavonoides, terpenoides y alcaloides, todos ellos ampliamente reconocidos por su papel en la defensa química de las plantas frente a estreses bióticos y abióticos cumpliendo funciones críticas para la supervivencia en ambientes naturales como ataques de herbívoros y patógenos, y adaptarse a variaciones ambientales extremas. Esta diversidad y riqueza de metabolitos secundarios confiere al genotipo silvestre una mayor capacidad adaptativa y, al mismo tiempo, un potencial significativo como fuente de compuestos nutraceuticos y medicinales de interés. El contraste entre los perfiles metabólicos de ambos genotipos subraya un aspecto fundamental de la domesticación: mientras que la selección artificial ha priorizado en *A. minor* la estabilidad y predictibilidad de los metabolitos primarios para fines agrícolas, el genotipo silvestre conserva una plasticidad química mayor, resultado de la presión selectiva natural. Esta diferencia no solo tiene implicaciones ecológicas y evolutivas, sino también prácticas, ya que los recursos genéticos silvestres pueden ser una fuente valiosa de metabolitos bioactivos para programas de mejoramiento genético orientados a incrementar la resistencia a estreses ambientales y recuperar compuestos de interés nutraceutico. En conclusión, los análisis de enriquecimiento funcional confirman que la domesticación de *S. edule* ha modificado profundamente la diversidad metabólica, promoviendo la concentración de rutas primarias en el genotipo domesticado y manteniendo la riqueza de rutas secundarias en el silvestre. Mientras *A. minor* refleja un metabolismo optimizado para la producción agrícola y el consumo humano, *S. edule* silvestre conserva una complejidad metabólica asociada con la adaptación ambiental y el potencial nutraceutico. Estos resultados evidencian la importancia de integrar la metabolómica en estudios de domesticación, ya que proporcionan una visión integral de los cambios bioquímicos asociados a la evolución de los cultivos y ofrecen información estratégica para programas de conservación y aprovechamiento de la diversidad genética y metabólica de especies de interés agroalimentario.

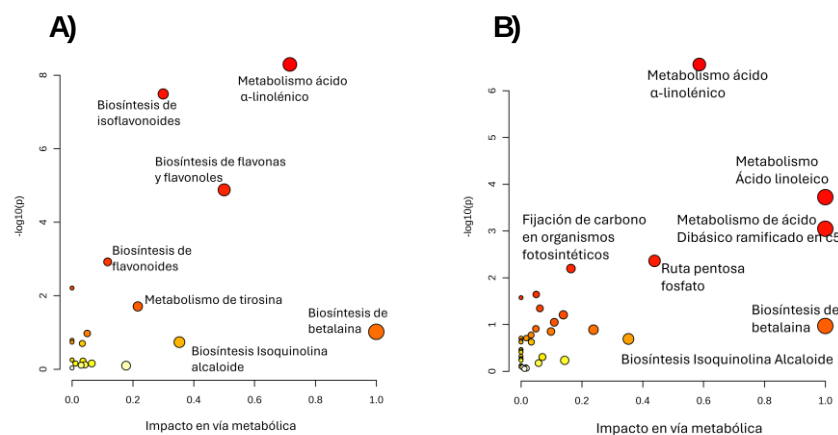


Figura 2. Rutas metabólicas enriquecidas. A) En *S. edule* silvestre, se identificaron 20 rutas metabólicas enriquecidas, asociadas al metabolismo secundario. B) En *S. edule* var. *Albus minor*, se detectaron 37 rutas metabólicas enriquecidas, relacionadas con el metabolismo primario.

CONCLUSIONES

Los resultados evidenciaron que la domesticación ha favorecido el enriquecimiento de rutas metabólicas primarias en *A. minor*, optimizando su crecimiento y contenido nutricional, mientras que *S. edule* silvestre conserva una mayor diversidad de metabolitos secundarios, esenciales para la defensa y adaptación ambiental, destacando así, la importancia de la metabolómica en estudios de domesticación y conservación de recursos genéticos.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Se agradece al COLPOS por el financiamiento del proyecto, en la convocatoria CONV_RGAA_2024_62.

LITERATURA CITADA

- Alseekh, S., Scossa, F., Wen, W., Luo, J., Yan, J., Beleggia, R., ... & Fernie, A. R. (2021). Domestication of crop metabolomes: desired and unintended consequences. *Trends in Plant Science*, 26(6), 650-661.
- Iñiguez-Luna, M. I., Cadena-Iñiguez, J., Soto-Hernández, R. M., Morales-Flores, F. J., Cortes-Cruz, M. and Watanabe, K. M. (2021). Natural bioactive compounds of *Sechium* spp. for therapeutic and nutraceutical supplements. *Frontiers in plant science*, 12:772389.
- Ku, Y. S., Contador, C. A., Ng, M. S., Yu, J., Chung, G., & Lam, H. M. (2020). The effects of domestication on secondary metabolite composition in legumes. *Frontiers in genetics*, 11, 581357.

CONSERVACIÓN DE TEJIDO VEGETAL DE ZARZAMORA (*RUBUS ULMIFOLIUS*) EN CONDICIONES DE CRECIMIENTO MÍNIMO ADICIONADO CON ÁCIDO SALICÍLICO

Esmeralda Judith Cruz-Gutiérrez¹*, Claudia Berenice Espitia-Flores², Marco Antonio Ramírez-Mosqueda¹, Humberto López-Delgado³, Juan Manuel Pichardo-González¹, Marcelina Vélez-Torres⁴, Gabriela Sandoval-Cancino¹

¹Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP. Boulevard de la Biodiversidad, #400. Rancho Las Cruces, C. P. 47600, Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

²Centro Universitario de los Altos de la Universidad de Guadalajara, Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

³Laboratorio de Fisiología y Biotecnología. Programa de Papa INIFAP. Conjunto SEDAGRO Metepec, Estado de México.

⁴Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. C.P. 56264.

*Autor de correspondencia: cruz.esmeralda@inifap.gob.mx

PALABRAS CLAVE: Frutillas, manitol, sacarosa.

INTRODUCCIÓN

El género *Rubus* es uno de los géneros más diversos tanto morfológico como genéticamente, poseen un amplio número de especies silvestres donde se ha tomado material para su mejoramiento y poder consumir la frutilla. En México ha tenido un crecimiento en el mercado, atribuido principalmente a sus características nutrimentales. (Muratalla-Lúa, 2018). La fruta se consume tanto en fresco como procesados, por sus características nutrimentales este cultivo se ha potencializado, así como la obtención de variedades mejoradas. Por lo que a través de la técnica de cultivo in vitro se han realizados trabajos para la propagación masiva. Sin embargo, los materiales mejorados obtenidos se deben de conservar para tener una fuente genética para investigaciones futuras. El método de conservación en crecimiento mínimo in vitro es un método que permite la conservación en condiciones controladas en el laboratorio disminuyendo el crecimiento del explante, manteniendo tejido vegetal de 9 meses a 3 años en un mismo medio y en el mismo tubo, asegurando la integridad genética y evitando la contaminación de plagas y enfermedades. La modificación del medio, las bajas temperaturas, el tipo de luz, tipo de recipiente o aplicación de reguladores osmóticos u hormonas vegetales que disminuyen el crecimiento, son utilizados para este tipo de conservación lo que provoca un estrés en el tejido vegetal. Por lo que existen alternativas para disminuir este efecto. En diferentes especies conservadas se ha utilizado ácido salicílico (AS), la cual es una hormona vegetal que actúa como molécula señalizadora, donde induce la tolerancia al estrés (Ayala-Hernández et al., 2019). Esto permite que el explante después de sacarlo del medio de conservación, se recupere al 100% para su multiplicación o aclimatación *ex vitro*.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de diferentes concentraciones de AS para la conservación a mediano plazo de tejido vegetal de zarzamora (*Rubus ulmifolius*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El Material vegetal fueron plántulas *in vitro* de zarzamora (*Rubus ulmifolius*). Se utilizó medio de cultivo Murashige y Skoog al 100% suplementado con manitol (15 g L⁻¹) y sacarosa (15 g L⁻¹); agar (8 g L⁻¹), y tres concentraciones de AS (10⁻⁴ M, 10⁻⁵ M, 10⁻⁶ M), incubación a temperatura de 5 °C, y fotoperiodo de 12 h, para la conservación en crecimiento mínimo, comparándolo con un el testigo, medio de cultivo Murashige y Skoog al 100% suplementado con sacarosa (15 g L⁻¹), agar (8 g L⁻¹), incubado a una temperatura de 24 °C y un fotoperiodo de 12 h.

Diseño experimental: el estudio se realizó utilizando un diseño experimental completamente al azar con diez repeticiones. Los tratamientos de AS fueron: 0 M, 10⁻⁴ M, 10⁻⁵ M y 10⁻⁶ M y el tiempo de conservación del material vegetal fue de 12 meses.

Análisis estadístico de los datos: los análisis estadísticos se hicieron con el programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2002). Previo al análisis, los valores de la variable respuesta porcentaje de retención, la cual se expresó en porcentaje, se transformó con la función arco seno $\sqrt{X/100}$. Se realizó un análisis de varianza y se efectuaron pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05), analizadas con Diferencia mínima significativa (DMS).

RESULTADOS

En el cuadro 1 se observa que el tratamiento uno junto con el testigo fueron los que menor altura de explante tuvieron, en cuanto al número de hojas el testigo y el tratamiento tres tuvieron menor presencia. El tratamiento uno presentó menor número de raíces, sin embargo, el tratamiento tres presentó menor longitud de raíces.

Cuadro 1. Efecto de diferentes concentraciones de AS en la conservación en condiciones de crecimiento mínimo *in vitro* de zarzamora (*Rubus ulmifolius*) al cabo de 12 meses.

AS M	Supervivencia (%)	Longitud de brotes (cm)	Número de hojas	Número de raíces	Longitud de raíces (cm)
Testigo	100 ± 0.00	2.81 ± 0.18bc	7.20 ± 0.44a	1.10 ± 0.23a	3.04 ± 0.58a
T1 (10-4)	90 ± 10.00	2.45 ± 0.43c	5.70 ± 0.77a	1.64 ± 0.42a	2.44 ± 0.49a
T2 (10-5)	100 ± 0.00	4.31 ± 0.30ab	6.50 ± 0.90a	1.00 ± 0.25a	2.86 ± 0.58a
T3 (10-6)	90 ± 10.00	5.08 ± 0.54a	6.40 ± 0.88a	1.40 ± 0.26a	2.67 ± 0.40a

Los valores representan la media ± error estándar. Los valores seguidos de letra diferente denotan diferencias estadísticas significativas según (Tukey, P ≤ 0,05).

Se observa que en el tratamiento 1, la longitud de brote es menor con respecto al testigo y a los otros tratamientos. El número de hojas y a longitud de raíces también es menor en el tratamiento 1. Sin embargo, el menor número de raíces se presentó en el tratamiento 2. Los pocos trabajos que hay sobre conservación *in vitro* mencionan que con medio Murashige y Skoog al 75%; sin reguladores

de crecimiento, únicamente suplementado con sacarosa (20 g L⁻¹); agar (8 g L⁻¹), incubación a temperatura de 5 °C, y fotoperiodo de 12 h (Vélez-Torres *et al.*, 2023). La literatura menciona que el AS es una hormona vegetal que actúa como una molécula señalizadora. Su principal efecto es la inducción de tolerancia al estrés, lo que mejora la viabilidad y la supervivencia de los explantes en condiciones a bajas temperaturas (Ayala-Hernández *et al.*, 2019). Por lo que esto puede ayudar a que los explantes se conserven por más tiempo sin que se oxiden, ya que se ha reportado que el AS participa en la señalización de la actividad antioxidante en papa bajo temperaturas extremas (Mora-Herrera *et al.*, 2005; Aguilar-Camacho *et al.*, 2016).

Por otro lado, en trabajos con AS utilizado para la crioconservación de papa, se observa que el explante tuvo mejor regeneración con concentraciones de AS de 10⁻⁵ y 10⁻⁶ M y en crecimiento mínimo se obtuvo una supervivencia del 100% (Ayala-Hernández *et al.*, 2019).

CONCLUSIÓN

La aplicación del AS en el medio de cultivo para la conservación de explantes de zarzamora, a una concentración de T1 (10⁻⁴), funcionó para la obtención de un menor crecimiento de brotes, además que evita la oxidación del explante por el estrés a las condiciones de la conservación.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Agradecemos al Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP por las facilidades de realizar ensayos de conservación a mediano plazo.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Camacho, M.; Mora-Herrera, M. E. and López-Delgado, H. A. 2016. Potato virus X (PVX) elimination as short- and long-term effects of hydrogen peroxide and salicylic acid is differentially mediated by oxidative stress in synergism with thermotherapy. *Am. J. Potato Res.* 93(4):360-367.
- Ayala-Hernández, D. D., Ruiz-Saénz, D. R., Cruz-Gutiérrez, E. J. y H A López-Delgado. 2019. Ácido salicílico induce tolerancia al estrés por criogenia en *Solanum tuberosum*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10 (7).
- Mora-Herrera, M. E.; López-Delgado, H.; Castillo-Morales, A. and Foyer, C. H. 2005. Salicylic acid and H₂O₂ function by independent pathways in the induction of freezing tolerance in potato. *Physiol. Plantarum*. 125(4):430-440.
- Muratalla-Lúa A. 2018. La producción de frambuesa y zarzamora en México. (2018). *Agro Productividad*, 6(5). <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/475>
- Vélez-Torres, M., Cruz-Gutiérrez, E. J., Calderón-Zavala, G., & Arellano-Ostoa, G. (2023). Conservación in vitro de recursos genéticos de zarzamora (*Rubus* spp.) y fresa (*Fragaria* L.) mediante crecimiento mínimo. *Agro-Divulgación*, 3(4). <https://doi.org/10.54767/ad.v3i4.219>

DIVERSIDAD DE RECURSOS GENÉTICOS DE AJONJOLÍ: EVALUACIÓN DE PROTEÍNAS Y GRASAS

Genny Llaven-Valencia^{1*}, Fernando Castillo-González², Amalio Santacruz-Varela², Elizabeth García-León¹, Serafín Cruz-Izquierdo², Ignacio Benítez Riquelme², Aidé Hernández-Hernández²

¹INIFAP-Campo Experimental Valle del Fuerte; ²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo; ³Tecnológico Nacional de México -Campus Guasave.

*Autor para correspondencia: llaven.genny@colpos.mx

PALABRAS CLAVE: diversidad, rendimiento, alimentos nutraceuticos.

INTRODUCCIÓN

El Ajonjolí (*Sesamum indicum* L), oleaginosa reconocida por su valor nutricional, Su diversidad genética se manifiesta en diferentes aspectos, constituye un., recurso fitogenético fundamental para satisfacer a la demanda de alimentos; permite hacer frente a los cambios adversos del cambio climático, las plagas y a las enfermedades (FAO 2019) es ampliamente usado en industria alimentaria y nutraceutica por su alto contenido de antioxidantes, proteínas y grasas. Este aceite es rico en ácidos grasos insaturados y compuestos antioxidantes, como lignanos y tocoferoles, que favorecen la estabilidad oxidativa y aportan beneficios a la salud humana (Dar et al., 2019) por otra parte, el contenido de proteínas en las semillas de ajonjolí también es relevante, ya que constituye entre 20 % y 25 % de su peso, con variaciones significativas entre poblaciones y variedades (Sharma et al., 2014) Los estudios han revelado una gran variabilidad genética en las colecciones de germoplasma de ajonjolí, lo que ha permitido identificar variantes agronómicamente beneficiosas para los programas de mejoramiento genético (Sharma et al., 2014). Sin embargo, el mejoramiento genético es relativamente lento en el ajonjolí, a un marcado arraigo de los agricultores por la diversidad local, con baja introgresión de nuevo germoplasma y baja adopción de variedades mejoradas (Qureshi, et al., 2022). Se requiere investigación para identificar nuevos genes y variedades de ajonjolí de México con mejores características de rendimiento y calidad.

OBJETIVO

Generar conocimiento sobre diversidad de poblaciones de poblaciones de ajonjolí en contenido de grasas y proteínas.

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se colectaron poblaciones de ajonjolí (*Sésamun indicum* L.) colectadas en diferentes estados de la vertiente de Océano Pacífico de México: Michoacán, Oaxaca, Guerrero, Sinaloa, y Sonora. Se evaluaron 57 el ciclo de verano (julio-diciembre 2022) en instalaciones de INIFAP-Campo

Experimental Valle del Fuerte. Se aplicó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. El manejo agronómico se realizó según lo indicado en agenda técnica 2015 de INIFAP para el cultivo de ajonjolí en la región Noroeste de México. Se analizaron las variables de: Días a floración, altura de planta, madurez fisiológica, rendimiento, peso de mil semillas, porcentaje de grasas totales, porcentaje de proteínas totales, croma y hue.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Se realizó el análisis de varianza comparación de medias, prueba de Tukey ($p < 0.05$). también se aplicó un análisis de componentes principales y se graficó la dispersión de las poblaciones sobre el plano determinado por los dos primeros componentes SAS versión 9.4 (SAS, Institute 2004).

RESULTADOS

Se detectaron diferencias estadísticas significativas en 75% de los caracteres agronómicos y de calidad de grano en duración de ciclo del cultivo, entre 55 a 77 días a floración y entre 106 y 116 días a madurez fisiológica, lo que impacta en el crecimiento y desarrollo de la planta, resultando en diferencias marcadas entre poblaciones. Poblaciones como Oriental, Dormilón, Huesillo y Cárdenas mostraron el mayor rendimiento de 1280, 1088, 1068 y 1038 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente, superando al testigo Breve sencillo, el cual mostró un rendimiento de 535 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Cuadro 1). En las variables de calidad de grano se observó alta significancia en los cuatro atributos analizados, lo cual indica variabilidad entre las poblaciones respecto a color de la testa del grano que varía de blanco a crema y marrón (Figura 1) relacionados con mayor o menor contenido de proteínas de hasta un 24.8 % sin superar a dos testigos con valores superiores a 25% y grasas totales, donde los valores oscilaron entre 42.5 a 55.0%, Hussain *et al.* (2018) indican que el ajonjolí de color blanco es de mayor uso para alimento y producción de aceite. La selección empírica que los productores han aplicado de manera local ha permitido mantener variabilidad, conservando las variantes de mejor adaptación en México bajo diferentes suelos y altitudes, que ha permitido niveles de sanidad, tolerancia a estrés hídrico y a condiciones climáticas, modificando a las poblaciones locales hacia la plasticidad fenotípica en variables vegetativas y duración de ciclo de desarrollo que respondan al ambiente local respectivo (Zhou *et al.*, 2018) influyendo esto en arquitectura de planta y capacidad de rendimiento (Kadkhodaie *et al.*, 2014).

Cuadro 1. Cuadrados medios para variables de calidad en 57 poblaciones de ajonjolí.

Fuente de variación	Grados de libertad	Proteínas totales (%)	Grasas Totales (%)	Luminosidad (%)	Croma (%)	Hue (%)
Repeticón	2	0.330698	0.241316	0.74	0.36	0.10
Poblaciones	57	26.059922*	67.900974*	88.90*	30.94*	9.95*
Error	227	0.81	0.33	0.15	0.24	0.081
Media		20.62	48.91	58.08	31.08	74.44
C.V (%)		4.36	1.17	0.67	1.59	0.38

**= significativas al 0.01%

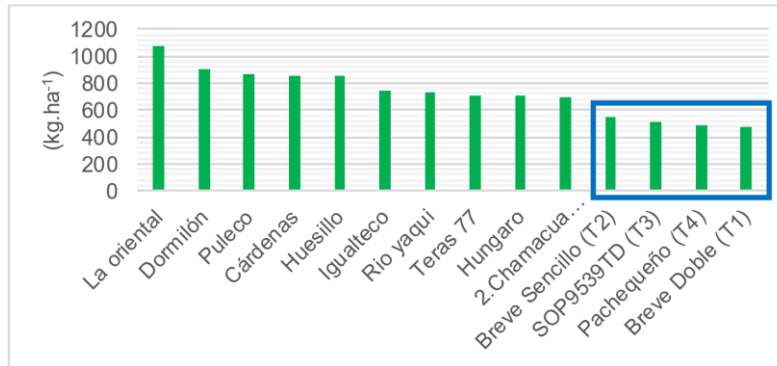


Figura 1. 10 poblaciones con mayor rendimiento (kg.ha⁻¹).

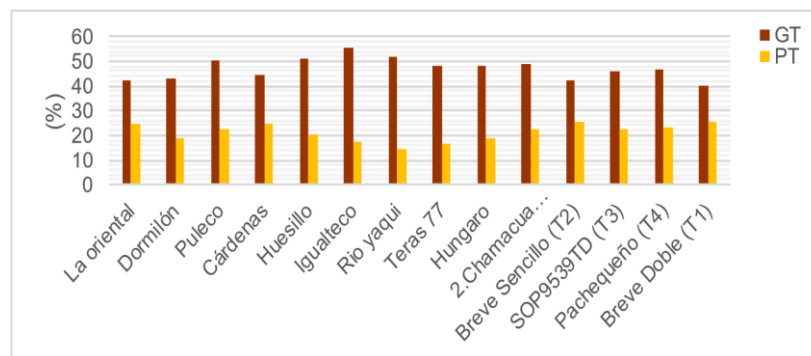


Figura 2. Proteínas y grasas en 10 poblaciones con mayor potencial.

CONCLUSIONES

Existe amplia diversidad de materiales criollos de ajonjolí en México, donde las selecciones locales tienen adaptación a los diferentes nichos ecológicos en las regiones donde son cultivadas, lo que explica sus diferencias en rendimiento, contenido de grasas y proteínas. Es necesario estudiar y conservar al cultivo, así como mejorarlo genéticamente para adaptación a diferentes entornos locales, sobre todo en regiones donde la disponibilidad del agua y la fertilidad del suelo son factores críticos.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, A la Bióloga Leticia Tavitas Fuentes, por facilitar algunos genotipos de ajonjolí del banco de germoplasma del INIFAP, Campo Experimental Zacatepec, Morelos y Productores de Ajonjolí del Noroeste de México por permitir colectas en sus predios.

LITERATURA CITADA

- Dar, A. A., Kancharla, P. K., Chandra, K., Sodhi, Y. S., & Arumugam, N., (2019). Assessment of variability in lignan and fatty acid content in the germplasm of *Sesamum indicum* L. Journal of Food Science and Technology, 56(2), 976–986. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03564-x>
- de Recursos Genéticos para la Alimentación y Agricultura. Disponible en <http://www.fao.org/3/ca3229en/CA3229EN.pdf>
- FAO; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). El patrimonio para la biodiversidad mundial para la alimentación y la agricultura- En resumen: Roma, Italia. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y Agricultura. Disponible en <http://www.fao.org/3/ca3229en/CA3229EN.pdf>
- Hussain, S. A., Hameed, A., Ajmal, I., Nosheen, S., Suleria, H. A. R., & Song., Y. (2018). Effects of sesame seed extract as a natural antioxidant on the oxidative stability of sunflower oil. Journal of Food Science and Technology, 55(10), 4099–4110. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3336-2>
- Kadkhodaie A, Razmjoo J, Morteza Z, Mohammad P (2014) Oil Content and composition of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes as Affected by Irrigation Regimes. J A la biodiversidad mundial para la alimentación y la agricultura- En resumen: Roma, Italia. Comisión Oil Chem Soc. Volumen 91. Número 10 1651-1830. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2524-0>

DESARROLLO DE CARDO MARIANO (*Silybum marianum* (L.) GAERTN.) Y SU CONTENIDO DE SILIMARINA EN TRES CONCENTRACIONES DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

Octavio Alberto Reyes-Espinosa^{1*}, Ebandro Uscanga-Mortera¹, Carlos Trejo- López¹, Marcos Soto-Hernández¹, Carlos Ramírez-Ayala¹, Ana María Castillo-González², Antonio Garcia-Esteva¹

¹ Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados; ²Universidad Autónoma Chapingo

*Autor para correspondencia: reyes.octavio@colpos.mx.

PALABRAS CLAVE: *Silybum marianum*, silimarina, hidroponía.

INTRODUCCIÓN

El cardo mariano (*Silybum marianum*), originario del Mediterráneo y presente en diversos estados de México, es una planta medicinal ampliamente reconocida por el contenido de silimarina, un compuesto que destaca por su actividad hepatoprotectora que se concentra principalmente en sus semillas. El interés creciente por las propiedades medicinales de *Silybum marianum* ha impulsado estrategias agronómicas orientadas a mejorar la producción de biomasa y metabolitos secundarios. Entre ellas, el cultivo hidropónico destaca como una alternativa viable, al ofrecer un control preciso de la nutrición mineral, factor clave para potenciar la síntesis de silimarina y otros compuestos bioactivos. En cultivo hidropónico, diferentes concentraciones de la solución de Steiner han mostrado influir en el crecimiento y rendimiento de plantas medicinales. Un suministro elevado de nitrógeno favorece el desarrollo vegetativo, aunque puede disminuir la concentración relativa de compuestos bioactivos como la silimarina. Por otro lado, elementos como fósforo, potasio, zinc y manganeso contribuyen a la acumulación de flavonoides y otros metabolitos secundarios (Gillesen *et al.*, 2020; Liava *et al.*, 2021; Bahmani *et al.*, 2015).

OBJETIVO

Evaluar el efecto de tres concentraciones de la solución nutritiva de Steiner (20, 60 y 100 %) en el desarrollo de cardo mariano y la concentración de silimarina en las semillas y sus precursores en las flores.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en un invernadero tipo túnel con ventilación cenital y lateral. El ciclo del cultivo inició en octubre de 2024 y concluyó en abril de 2025. Las plántulas se obtuvieron a partir de semillas comerciales (Canasta integral MX®), germinadas en almácigos con turba como sustrato. El trasplante se realizó al observar el segundo par de hojas verdaderas expuestas, en bolsas de polietileno de 40 cm de altura, que contuvieron 15 kg de tezontle rojo con granulometría menor o igual a 2 mm.

Los tratamientos consistieron en tres concentraciones de solución nutritiva [100 (T1), 60 (T2) y 20 % (T3)], preparadas a partir de la fórmula general de Steiner. Un sistema de riego por goteo automatizado se empleó para la aplicación del riego y los tratamientos, los cuales se aplicaron 30 días después del trasplante; durante el periodo previo, se irrigó uniformemente con la solución al 100 %.

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de 24 plantas. Las variables evaluadas fueron altura de planta, diámetro del tallo, peso seco del vástago, número de inflorescencias y número total de semillas por planta. También se determinó la concentración de silimarina en las semillas y sus precursores (taxifolina y alcohol coniferílico) en las flores, estas evaluaciones se realizaron en tres etapas fenológicas: floración, llenado y en madurez fisiológica de semilla.

Análisis estadístico de los datos

Los datos se sometieron a análisis de varianza y en caso de existir diferencias significativas se procedió a pruebas post hoc de comparación múltiple de medias con $\alpha = 0.05$. El procesamiento estadístico se realizó con el paquete estadístico R.

RESULTADOS

El tratamiento 3 (20%) alcanzó la mayor altura, pero con baja biomasa y número de inflorescencias, mientras que el tratamiento 2 (60%) presentó un crecimiento equilibrado con mayor producción de inflorescencias, sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el número total de semillas por planta respecto al tratamiento 1 (100%). Estos resultados coinciden con lo señalado por Villanueva-Couoh *et al.* (2009), quienes indican que un mayor alargamiento celular no garantiza mayor rendimiento, por lo que la altura debe evaluarse junto con variables como biomasa y producción de semillas (Cuadro 1).

El tiempo a floración mostró claras diferencias entre tratamientos. En T1 ocurrió a los 95 días, mientras que en T2 y T3 se adelantó a los 85 y 80 días, respectivamente. Este contraste sugiere que en T1 la mayor disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno, prolongó la fase vegetativa, en tanto que la menor nutrición en T2 y T3 causó una floración más temprana como mecanismo adaptativo al estrés.

En *Silybum marianum*, la taxifolina fue mayor en T3 durante la floración, sin diferencias durante el llenado de semilla, y alcanzó su valor más alto en T1 en la madurez fisiológica de la semilla, dado que también se analizó si estos precursores aún estaban presentes en semillas maduras. El alcohol coniferílico no mostró diferencias significativas, aunque tendió a ser más alto en T3. La silimarina

aumentó al reducirse la nutrición, destacando T3 con la mayor concentración, pero sin diferencias estadísticas con respecto a los demás tratamientos (Figura 1).

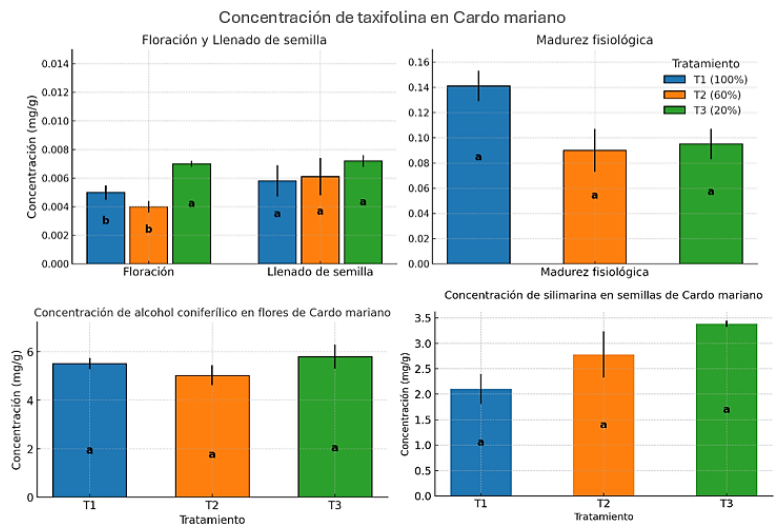


Figura 1. Concentración de taxifolina, alcohol coniferílico y silimarina en *Silybum marianum* durante las etapas de floración, llenado y madurez fisiológica de semilla. Cada barra representa la media de tratamiento $\pm$ error estándar (e.e.); letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 1. Respuesta de *Silybum marianum* a tres concentraciones de solución nutritiva Stainer

Variable	Tratamientos		
	T1	T2	T3
Altura de planta	109.68 b	114.93 b	122.37 a
Peso seco	216.93 a	186.06 b	84.68 c
Diámetro del tallo	21.61 a	15.40 b	12.24 c
Número de Inflorescencias	36.37 b	41.12 a	11.12 c
Total de semillas por planta	2021.5 a	1956.98 a	510.39 b

^z Medias de las variables con la misma letra son estadísticamente iguales, Tukey $\alpha = 0.05$

CONCLUSIONES

El nivel de nutrición influyó de manera diferenciada en el desarrollo y en la acumulación de compuestos bioactivos en *Silybum marianum*. Una mayor disponibilidad de nutrientes (T1) favoreció el crecimiento vegetativo y retrasó la floración, mientras que niveles intermedios (T2) lograron un equilibrio entre biomasa y producción de inflorescencias. En contraste, la baja nutrición (T3) estimuló una floración temprana y la acumulación de silimarina, aunque con menor rendimiento en biomasa y semillas.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Se agradece al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, al Posgrado en Botánica y a los asesores por el apoyo brindado, así como a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por el financiamiento otorgado.

LITERATURA CITADA

- Bahmani, M., Shirzad, H., Rafieian, S., & Rafieian-Kopaei, M. (2015). *Silybum marianum*: beyond hepatoprotection. *Journal of evidence-based complementary & alternative medicine*, 20(4), 292-301.
- Gillessen, A., & Schmidt, H. H. J. (2020). Silymarin as supportive treatment in liver diseases: A narrative review. *Advances in Therapy*, 37(4), 1279-1301.
- Liava, V., Karkanis, A., & Tsiropoulos, N. (2021). Yield and silymarin content in milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) fruits affected by the nitrogen fertilizers. *Industrial Crops and Products*, 171, 193.
- Villanueva-Couoh, E., Alcántar-González, G., Sánchez-García, P., Soria-Fregoso, M., y Larque-Saavedra, A. (2009). Efecto del ácido salicílico y dimetilsulfóxido en la floración de *Chrysanthemum morifolium* (Ramat) Kitamura en Yucatán. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 15(2), 25-31.

EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO SOBRE LA VIABILIDAD Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *NOTHOSCORDUM BIVALVE* (L.) BRITTON (AMARYLLIDACEAE)

Adrián de Jesús Arellano Argüello^{1*}, Carlos Alberto Ruiz Jiménez¹, Fabiola Dafne Saavedra Millán²

¹Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

²Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle – Escuela Cristóbal Colón. Avenida Miguel Bernard # 52, Col. Siete Maravillas. C.P. 07320 Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México.

(202062961@viep.com.mx)*.

RESUMEN

La cebollita o cebolleta (*Nothoscordum bivalve*) es una herbácea perenne de hasta 80 cm de altura, con bulbo ovoide, hojas laminares lineares, umbela con flores periantadas con segmentos de color blanco y nervadura media púrpura o verdosa, el fruto es una cápsula ovoide con semillas angulosas. Es arvense americana distribuida en pastizales, matorrales y bosques de México. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del almacenamiento sobre la viabilidad y germinación de semillas de *Nothoscordum bivalve*. Los frutos se colectaron en agosto de 2023 en el campus de Ciudad Universitaria (BUAP) y se almacenaron en recipientes herméticos a temperatura ambiente durante un año. El diseño experimental fue completamente aleatorio, los ensayos de germinación se realizaron en agosto de 2024, los tratamientos pregerminativos consistieron en la imbibición en agua destilada y oxigenada (AO) en cuatro tiempos (6, 12, 18 y 24 horas). Se establecieron tres réplicas de 30 semillas en cajas Petri por tratamiento. Los resultados se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos (gráficos) y analíticos. La ANOVA ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación no presentan diferencias significativas entre los tratamientos, el control y AO12 presentaron los promedios del porcentaje de germinación de 86.67 y 87.78% (muy altos) y los tratamientos restantes valores altos (entre 70 a 85%). Concluimos que el almacenamiento de las semillas de *Nothoscordum bivalve* fue adecuado pues los porcentajes de germinación fueron altos y muy altos, consideramos que las semillas solo requieren condiciones adecuadas luz, temperatura y humedad constante y moderada para germinar.

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DEL BRAQUIQUITO [*BRACHYCHITON POPULNEUS* (SCHOTT & ENDL.) R. BR. SUBSP. *POPULNEUS* (MALVACEAE)]

Oscar Armando Olarte Rivera^{1*}, Carlos Alberto Ruiz Jiménez²

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

²Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla. (oscar.olarter@alumno.buap.mx)*.

RESUMEN

El braquiquito o árbol botella es nativo de Australia, se utiliza su con fines ceremoniales, alimenticios y medicinales, su uso se ha difundido como planta ornamental en zonas urbanas. Es una especie perenne de 12 metros de altura, sus folículos poseen numerosas semillas ovoides de color amarillo o negro (cuando no se dispersan). El objetivo de este estudio fue determinar si el estado de madurez (color de la semilla) determina la germinación del braquiquito. Las semillas se colectaron en Ciudad Universitaria de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. El diseño experimental fue completamente aleatorio, los tratamientos pregerminativos para las semillas (amarillas [A] y negras [N]) consistieron en la imbibición en agua oxigenada (durante 24 horas), acetona (AC) (durante 2 horas) y choque térmico (CT) en agua hirviendo durante (3 minutos). Se establecieron tres réplicas de 30 semillas en cajas Petri para cada tratamiento. Los resultados de la germinación se registraron diariamente durante 132 días (hasta que ya no hubo germinación), se analizaron con métodos descriptivos gráficos y analíticos. La ANOVA ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación no presenta diferencias significativas entre los tratamientos, ni entre los dos tipos de semillas. Los promedios del porcentaje de germinación de los tratamientos son altos (71.11 – 78.89%) a excepción de N-AC y N-CT con valores medios (57.78 y 66.67%). Concluimos que el tratamiento pregerminativo no influyo en la germinación de semillas de braquiquito y su amplio intervalo de germinación dificulta su propagación en el vivero debido a su baja velocidad e índice de germinación.

APLICACIÓN EN EL SUSTRATO DE MELATONINA COMO BIOESTIMULANTE DE PLÁNTULAS DE JITOMATE

José Luis Díaz-Nuñez¹, David Trujillo-García^{1*}, Ebandro Uscanga Mortera¹, Carlos-Trejo¹, Antonio García-Esteva¹

¹Posgrado en Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Carr. México Texcoco, KM 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56264. (trujillo.david@colpos.mx)*

RESUMEN

La melatonina es una indolamida que regula funciones hormonales en animales y ha sido identificada en más de 20 familias de plantas. Por ello, se considera una sustancia natural segura con potencial para eficientizar procesos fisiológicos en la producción de cultivos. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto bioestimulante de la aplicación de melatonina al sustrato en plántulas de jitomate. Se utilizaron semillas de la variedad "Rio Grande", germinadas y posteriormente trasplantadas a charolas con vermiculita y a macetas con una mezcla de suelo:vermiculita (3:1). Los tratamientos consistieron en cuatro aplicaciones al sustrato, durante 28 días de melatonina en concentraciones de 10^{-3} a 10^{-7} molar. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, las unidades experimentales fueron 15 plántulas por tratamiento. Se midió a los dos días después de la última aplicación: la altura, el diámetro del tallo, el área foliar, el número de raíces adventicias, la materia seca y el contenido de fenoles totales en raíces y vástago. A los datos se les realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de medias. En charola, la concentración 10^{-4} molar promovió el crecimiento, aunque se redujo el contenido de fenoles totales en raíz. En maceta, las concentraciones 10^{-3} y 10^{-4} molar favorecieron el desarrollo de raíces adventicias, mientras que los efectos sobre otras variables de crecimiento fueron variables y no modificaron el contenido de fenoles totales. En conclusión, la aplicación de melatonina al sustrato representa una alternativa viable para estimular parámetros específicos del crecimiento en plántulas de jitomate.

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DEL *KIMNACHIA RAMULOSA* (SALM-DYCK) S. ARIAS & N. KOROTKOVA (CACTACEAE)

Edgar de Jesús Romero Luis^{1*}, Carlos Alberto Ruiz Jiménez¹, Fabiola Dafne Saavedra Millán²

¹Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

²Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle – Escuela Cristóbal Colón. Avenida Miguel Bernard # 52, Col. Siete Maravillas. C.P. 07320 Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México.

(202055368@viep.com.mx)*.

RESUMEN

Kimnachia es un género monotípico con solamente una especie, *Kimnachia ramulosa* conocida como nopalillo frondoso o cactus coral es una cactácea epífita péndula neotropical, se distribuye en selvas tropicales húmedas, se ramifica desde la base, sus tallos son redondos basalmente y planos en los ápices, las ramas de hasta 25 cm de largo y 2 cm de ancho, sus ramas de color coral y se tornan verdes con el tiempo, flores de color crema rosado o verdoso, los frutos son bayas blanquecinas de hasta 8 mm de diámetro. Se utiliza principalmente como una planta de ornato. El objetivo de este estudio fue evaluar la germinación de semillas de *Kimnachia ramulosa*. Los frutos se colectaron en 2024 en el Jardín Botánico Universitario (BUAP). El diseño experimental fue completamente aleatorio, los tratamientos pregerminativos consistieron en la imbibición en agua oxigenada por 24 horas y en agua caliente (temperatura entre 75 y 85 °C) hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se establecieron réplicas de 30 semillas en cajas Petri por tratamiento. Los resultados de la germinación se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos (gráficos) y analíticos. La ANOVA ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación no presentan diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores de los promedios del porcentaje de germinación fueron muy bajos (<40%). Concluimos que se requiere mayor investigación sobre la germinación de la especie, es necesario implementar ensayos con tratamientos pregerminativos físicos (escarificación mecánica o química con ácidos), térmico y de estratificación buscando aumentar los porcentajes de germinación de *Kimnachia ramulosa*.

EVIDENCIA DE METABOLISMO ÁCIDO DE LAS CRASULÁCEAS EN PLÁNTULAS DE *P. DEBBERTIANA* CRECIENDO *IN VITRO*

Ortiz Montiel Juan Gerardo¹*, Jiménez Nolasco María Fernanda¹, Camacho Montiel Sergio¹,
Verástegui Vidal Miguel Ángel¹, Pozos Ruiz Yolanda¹

¹Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Av. de los Barrios¹, Los Reyes Ixtacala, Barrio de los Héroes, 54090

Autor de correspondencia: jgerardo@unam.mx

RESUMEN

México cuenta con 41 especies del género *Pinguicula*, 38 son endémicas, es un grupo apreciado mundialmente por su potencial ornamental. *Pinguicula debbertiana* es una insectívora del Estado de San Luis Potosí, Méx., cuyas poblaciones se ven diezmadas por el clima y sobre recolección. Esta presenta variaciones morfológicas relacionadas a un ciclo anual como “roseta de verano” con hojas delgadas y amplias y “roseta de invierno” con hojas gruesas y succulentas. La causa principal del cambio en esta morfología no está del todo claro, sin embargo, la succulencia de la roseta de invierno permite pensar en la posibilidad de que presente metabolismo fotosintético tipo CAM aun cuando este género se ha reportado como tipo C4. Por lo cual, el objetivo de este trabajo fue desarrollar *in vitro* *P. debbertiana* en tres fotoperiodos y evaluar la acumulación nocturna de ácidos orgánicos, así como caracterizar el tipo de anatomía foliar para asociarla al metabolismo fotosintético. A partir de plantas mantenidas en laboratorio, se multiplicaron plantas de *P. debbertiana* en roseta de verano en Medio Murashige y Skoog (1962) a una cuarta parte de su concentración, se incubaron por 40 días bajo fotoperiodos de 16, 12 y 8 horas luz, con $100 + 30 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a una temperatura de entre 22 a 24°C. Se determinó el peso, la concentración de clorofilas, la acidez titulable y el tipo de anatomía foliar para asociarla al metabolismo fotosintético. Las observaciones de acidez titulable y anatomía foliar sugieren la presencia de Metabolismo Ácido de las Crasuláceas en *Pinguicula debbertiana*.

ESTUDIO DE CERTIFICACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ESPECIES COMERCIALES ORNAMENTALES CON FLORES

Fabiola Dafne Saavedra Millán^{1*}, Carlos Alberto Ruiz Jiménez²

¹Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle – Escuela Cristóbal Colón. Avenida Miguel Bernard # 52, Col. Siete Maravillas. C.P. 07320 Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México

²Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

RESUMEN

En México la certificación de semillas la realiza la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR) por medio del Servicio Nacional de Investigación y Certificación de Semillas (SNICS); se ejecuta prioritariamente con especies de importancia agrícola para el consumo humano y pecuario, garantiza un cultivo vigoroso y uniforme asegurando que se encuentre libre de plagas y enfermedades con el fin de obtener las mejores cosechas y mayores ingresos para los productores; en contraste, la certificación de semillas de plantas ornamentales para floricultura, es voluntaria por parte de las empresas productoras. El objetivo del estudio fue certificar el porcentaje de germinación de semillas de especies ornamentales con flores. Se seleccionaron cuatro especies ornamentales con flores, dos especies de la familia Asteraceae y dos de la familia Lamiaceae, de la primera la albahaca fina verde (*Ocimum basilicum* L. var. fina verde) y el tomillo (*Thymus vulgaris* L.), de la segunda, dalia enana (*Dahlia* spp.) y zinnia elegante (*Zinnia elegans* Jacq.). Las semillas se compraron en cuatro tiendas departamentales independientes, los ensayos de germinación comprenden diseños experimentales completamente aleatorios, para cada especie se establecieron tres réplicas de 30 semillas. Los resultados se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos (gráficos) y analíticos (índices). Los valores de germinación de la albahaca fueron altos (74.44%) y para las especies restantes valores muy altos, que coinciden con los indicados en el sobre (94.44 a 98.15%). Se concluye que las semillas ofertadas por las marcas en los centros comerciales en su mayoría son de alta calidad.

ESTUDIO DE LA GERMINACIÓN CELOSIA ARGENTEA L. VAR. CRISTATA (AMARANTHACEAE)

Adrián de Jesús Arrellano Arguello¹, Carlos Alberto Ruiz Jiménez¹

¹Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla

Autor de correspondencia: 202062961@viep.com.mx

RESUMEN

Celosia argentea L. var. *cristata* es una planta tropical nativa de África y Asia, en México es conocida como “flor de terciopelo” o “cresta de gallo”, tiene un notable valor ornamental y cultural en las festividades del “Día de Muertos”. Debido a su uso extensivo y a la escasa información sobre su biología reproductiva, se planteó el objetivo de comparar el efecto de diferentes tratamientos pregerminativos sobre la germinación de semillas de *C. argentea* L. var. *cristata*. Se establecieron cuatro condiciones experimentales: el control con luz natural (C), luz roja (LR), luz azul (LA) y oscuridad (O). Cada tratamiento incluyó tres réplicas con 30 semillas por unidad experimental. Las semillas se recolectaron en noviembre de 2023 a partir de inflorescencias utilizadas en ofrendas tradicionales en la ciudad de Puebla. El ensayo de germinación se realizó en condiciones de temperatura ambiente en cajas Petri. El diseño experimental fue completamente aleatorio. La germinación se registró diariamente durante 10 días y se analizó con métodos descriptivos gráficos y analíticos. Los porcentajes de germinación fueron altos para todos los tratamientos [O (90.00%), LR (91.11%), C (87.78%) y LA (84.44%)]. En todos los tratamientos, el mayor número de semillas germinadas se registró al segundo día después de la siembra. El análisis estadístico (ANOVA) indicó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p=1$). Concluimos que la germinación de *C. argentea* no depende significativamente del tipo de luz que incidente y en condiciones controladas la presencia de agua es suficiente para iniciar el proceso de germinación.

EVALUACIÓN DE DISTINTOS TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE *MORELLA CERIFERA* L. (SMALL.) (MYRICACEAE)

Gustavo García Bolaños^{1*}, Carlos Alberto Ruiz Jiménez²

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

²Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

Autor de correspondencia: gustavo.garciabo@alumno.buap.mx

RESUMEN

Morella cerifera es un arbusto perenne que en México se distribuye en bosques templados. Posee importancia ecológica pues realiza la fijación de nitrógeno, restauración de suelos y es alimento de aves. Además, en la medicina tradicional se emplea para mejorar la circulación y controlar infecciones bacterianas. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de distintos tratamientos pregerminativos en la germinación de semillas de *Morella cerifera*. Los frutos se colectaron en bosques de Río Frío (Estado de México) en enero de 2024. El diseño experimental fue completamente aleatorio, los tratamientos pregerminativos consistieron en la imbibición en solución de excretas de cuyo durante diez días (E), ácido sulfúrico (durante 1 minuto) (A), escarificación mecánica con lija (L) y temperatura constante (21° C-T). Los resultados de germinación se registraron diariamente durante 116 días y se analizaron con métodos descriptivos gráficos y analíticos. La ANOVA ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación indica diferencias significativas entre los tratamientos, la prueba de Tukey identificó al Control (con 20% de germinación) con medias significativamente diferentes. La ausencia de germinación en L se atribuye a un daño del embrión durante la escarificación. Los porcentajes de germinación de los tratamientos restantes fueron muy bajos (<40%, E- 4.44%, A-4.44% y T-17.78%) y podrían estar relacionados con el estado de maduración de los frutos debido a que las semillas estuvieron expuestas a un periodo de estratificación estacional, durante el cual los embriones pudieron haber muerto o entrado en latencia. Concluimos que es necesaria mayor investigación sobre la biología reproductiva de *Morella cerifera*.

EVALUACIÓN DE DISTINTOS TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE *CHENOPODIUM GRAVEOLENS* LAG. & RODR. (AMARANTHACEAE)

José Orlando Flores Palafox^{1*}, Carlos Alberto Ruiz Jiménez²

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

²Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

Autor de correspondencia: oscar.olarter@alumno.buap.mx

RESUMEN

Chenopodium graveolens es una planta herbácea anual conocida como “epazote de zorrillo” que se distribuye en diversos tipos de vegetación en América y África, es una maleza arvense y ruderal que en México se utiliza en la medicina tradicional como antihelmíntico y digestivo, sus propiedades farmacológicas registradas comprenden su empleo como sedante, prevención de úlceras, citotóxico y antiinflamatorio. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres tratamientos pregerminativos sobre la germinación de semillas de *Chenopodium graveolens*. Las semillas se recolectaron en plantas en los bosques templados del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl durante enero de 2025. El diseño experimental fue completamente aleatorio, los tratamientos pregerminativos consistieron en la exposición a luz roja (LR), luz azul (LA) y una temperatura constante de 20°C (T). Se establecieron tres réplicas de 30 semillas en cajas Petri para cada tratamiento. Los resultados de la germinación se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos (gráficos) y analíticos (índices). Los porcentajes de germinación en los tratamientos fueron bajos (LR-54.44% y C-45.56%) y muy bajos (T-33.33% y LA-32.22%). La ANOVA ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Los tratamientos de LR y LA muestran efectos inversos en la germinación en relación con su velocidad y homogeneidad. Concluimos que se requiere mayor investigación para incrementar los porcentajes de germinación de semillas de *Chenopodium graveolens*.

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DEL *KIMNACHIA RAMULOSA* (SALM-DYCK) S. ARIAS & N. KOROTKOVA (CACTACEAE)

Edgar de Jesús Romero Luis^{1*}, Carlos Alberto Ruiz Jiménez¹, Fabiola Dafne Saavedra Millán²

¹Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

²Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle – Escuela Cristóbal Colón. Avenida Miguel Bernard # 52, Col. Siete Maravillas. C.P. 07320 Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México

Autor de correspondencia: 202055368@viep.com.mx

RESUMEN

Kimnachia es un género monotípico con solamente una especie, *Kimnachia ramulosa* conocida como nopalillo frondoso o cactus coral es una cactácea epífita péndula neotropical, se distribuye en selvas tropicales húmedas, se ramifica desde la base, sus tallos son redondos basalmente y planos en los ápices, las ramas de hasta 25 cm de largo y 2 cm de ancho, sus ramas de color coral y se tornan verdes con el tiempo, flores de color crema rosado o verdoso, los frutos son bayas blanquecinas de hasta 8 mm de diámetro. Se utiliza principalmente como una planta de ornato. El objetivo de este estudio fue evaluar la germinación de semillas de *Kimnachia ramulosa*. Los frutos se colectaron en 2024 en el Jardín Botánico Universitario (BUAP). El diseño experimental fue completamente aleatorio, los tratamientos pregerminativos consistieron en la imbibición en agua oxigenada por 24 horas y en agua caliente (temperatura entre 75 y 85 °C) hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se establecieron réplicas de 30 semillas en cajas Petri por tratamiento. Los resultados de la germinación se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos (gráficos) y analíticos. La ANOVA ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación no presentan diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores de los promedios del porcentaje de germinación fueron muy bajos (<40%). Concluimos que se requiere mayor investigación sobre la germinación de la especie, es necesario implementar ensayos con tratamientos pregerminativos físicos (escarificación mecánica o química con ácidos), térmico y de estratificación buscando aumentar los porcentajes de germinación de *Kimnachia ramulosa*.

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ASCLEPIAS LINARIA CAV. (APOCYNACEAE)

Adolfo Sánchez Mendoza, Carlos Alberto Ruiz Jiménez, Fabiola Dafne Saavedra Millán

¹Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

²Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle – Escuela Cristóbal Colón. Avenida Miguel Bernard # 52, Col. Siete Maravillas. C.P. 07320 Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México.

Autor de correspondencia: adolfo.sanchezm@alumno.buap.mx

RESUMEN

El algodoncillo de agujas de pino (*Asclepias linaria*) es una sufrútice perenne de hasta 2 m de altura, hojas lineares (1.5 a 5.5 cm de largo), cimas umbeliformes con 10 a 29 flores bisexuales de corola blanco-verdosa o matizada de morado en el exterior, frutos secos con dehiscencia ventral, semillas obovadas de color café pálido asociados a una coma de pelos blancos. Maleza ampliamente distribuida en México en bosques tropicales caducifolios, de pino-encino, pastizales y matorrales xerófilos. *Asclepias linaria* es una de las especies del género del cuál las orugas de la mariposa monarca se alimentan para desarrollarse, de manera particular consumen sus hojas y adquieren los metabolitos secundarios que les brindan su toxicidad contra sus depredadores. El objetivo de esta investigación fue evaluar la germinación de semillas de *Asclepias linaria*. Los frutos se colectaron en 2024 en el campus de Ciudad Universitaria (BUAP). El diseño experimental fue completamente aleatorio, los tratamientos pregerminativos consistieron en la imbibición en agua destilada y oxigenada en dos tiempos (12 y 24 horas). Se establecieron tres réplicas de 30 semillas en cajas Petri para cada tratamiento. Los resultados de la germinación se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos (gráficos) y analíticos. La ANOVA ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación no presentan diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores de los promedios del porcentaje de germinación fueron muy altos (93.33 – 98.89%). Concluimos que para la germinación de semillas de *Asclepias linaria* se requieren condiciones adecuadas de temperatura, luz y humedad constante y moderada.

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE FOENICULUM VULGARE MILL. (APIACEAE)

Pablo Escobedo Cuevas^{1*}, Selene Campos Vazquez¹, Fabiola Dafne Saavedra Millán¹, Carlos Alberto Ruiz Jiménez²

¹Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle – Escuela Cristóbal Colón. Avenida Miguel Bernard # 52, Col. Siete Maravillas. C.P. 07320 Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México.

²Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

Autor de correspondencia: pescobedoc_p@ecc.edu.mx

RESUMEN

El hinojo (*Foeniculum vulgare*), planta herbácea originaria de Europa adaptada a diversas regiones de clima templado en México; se cultiva con fines medicinales, ampliamente utilizada en la medicina tradicional, se ha empleado para el tratamiento de afecciones relacionadas con los sistemas digestivo, endocrino, reproductivo y respiratorio, mostrando su relevancia etnobotánica y terapéutica. El objetivo fue evaluar la germinación de semillas de hinojo (*Foeniculum vulgare*). Las semillas se colectaron en ejemplares del Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle (Ciudad de México) entre enero de 2023 a marzo de 2025. El ensayo de germinación constituye un diseño experimental completamente aleatorio, los tratamientos pre-germinativos consistieron en: imbibición en agua destilada (A) y agua oxigenada (AO), con cinco tiempos de duración 6, 12, 18, 24 y 48 horas c/u, cada tratamiento incluyó tres réplicas de 30 semillas por caja Petri P60. Los resultados de la germinación se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos (gráficos) y analíticos (índices). El análisis de varianza (ANOVA) ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación indica que se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, la prueba de Tukey indicó que el control difiere significativamente (presentó el mayor porcentaje de germinación 60%-medio), al igual que los tratamientos en agua destilada A48, A18, A12 y A6 (valores bajos); los porcentajes de germinación en AO fueron muy bajos (<40%). Consideramos que el agua oxigenada ejerce un efecto indeterminado en la semilla que afecta la germinación, por ello no se recomienda emplearla para su imbibición.

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE GONOLOBUS NIGER (CAV.) R. BR. EX SCHULT. (APOCYNACEAE)

Geovani Solano Gutiérrez^{1*}, Carlos Alberto Ruiz Jiménez²

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

²Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

Autor de correspondencia: geovani.solanog@alumno.buap.mx

RESUMEN

La chompipa (*Gonolobus niger*) es una trepadora leñosa perenne distribuida en el suroeste de Estados Unidos y México, en nuestro país se localiza en bosques tropicales caducifolios y bosques mesófilos. Es una planta medicinal con hojas enteras ovadas, flores moradas, frutos comestibles (asados o hervidos con azúcar) y la raíz se emplea como espumante en una bebida tradicional regional con chocolate. El objetivo de esta investigación fue evaluar la germinación de semillas de *Gonolobus niger*. Los frutos se colectaron en enero de 2024 en el municipio de Emiliano Zapata, Veracruz. El diseño experimental fue completamente aleatorio, los ensayos de germinación consideraron tratamientos pregerminativos de imbibición en agua destilada (AD) y oxigenada (AO) en 6 y 24 horas en tres temperaturas (T26 °C, T28 °C y T30 °C). Se establecieron tres réplicas de 30 semillas en cajas Petri para cada tratamiento. Los resultados de la germinación se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos gráficos y analíticos. El tratamiento AO24 no presentó germinación en ninguna temperatura. El resto de los tratamientos (C, AD6, AD24 y AO6) la ANOVA ($\alpha=0.05$) de los porcentajes de germinación de las tres temperaturas no presentan diferencias significativas. Los promedios del porcentaje de germinación fueron muy altos (100%-T30 °C y 88.89 a 98.89%-T28 °C) y para T26 °C muy altos en C, AD6 y AD24 y muy bajos para AO6. Concluimos que la germinación de semillas de *Gonolobus niger* requieren condiciones adecuadas luz (fotoperiodo 18 horas-luz / 6 horas-oscuridad), humedad constante y moderada en un intervalo de temperatura entre 26 °C y 30 °C.

FOTOSÍNTESIS DE TOMATE EN TEMPERATURA ALTA Y CO₂ ELEVADO: GENES, PROTEÍNAS E INTERCAMBIO DE GASES

René Garruña^{1*}, Jade M. Pereyda-González², Clelia De-la-Peña³, Wilmer Tezara^{4,5}, Rubén H.

Andueza-Noh¹

¹SECIHTI / Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México, C.P. 97345. ²Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México, C.P. 97345.

³Centro de Investigación Científica de Yucatán, Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97205.

⁴IBE, Universidad Central de Venezuela, Caracas 1041-A, Venezuela, C.P. 47114. ⁵Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Estación Experimental Mutila, Esmeraldas Ecuador, C.P. 080102.

Autor de Correspondencia: rene.garruna@itconkal.edu.mx

RESUMEN

Las hortalizas son cultivos clave en áreas tropicales, pero su producción se ve afectada por factores asociados al cambio climático. El aumento de CO₂ puede mitigar el estrés por altas temperaturas; evaluar la fotosíntesis es esencial para comprender la respuesta de las plantas a condiciones extremas. El objetivo de este estudio fue analizar la respuesta fisiológica y molecular de dos genotipos de tomate, híbrido Pony Express (HPE) y Criollo 104 Rosa Pack (CRP), en temperatura alta y CO₂ elevado. Se evaluó la eficiencia del PSII, el intercambio de gases, la expresión del gen *psbA* y la acumulación de proteínas D1, D2 y Rubisco. Se cultivaron las plantas en tratamientos de temperatura alta (40°C) o baja (30°C) y atmósferas con CO₂ ambiental (400 ppm) o elevado (1200 ppm). La tasa de transporte de electrones (ETR) aumentó en HPE en temperatura alta y CO₂ elevado; el coeficiente de extinción fotoquímico (*qP*) incrementó en CRP; la fotosíntesis (*A_N*) aumentó bajo temperatura alta y CO₂ ambiental; la eficiencia de uso del agua (EUA) fue mayor en CO₂ elevado a temperatura baja; en ambas variedades la actividad de *psbA* incrementó en temperatura alta y CO₂ ambiental; la proteína D1 se acumuló más por la mañana en HPE y más por la tarde en CRP; Rubisco aumentó en HPE en temperatura alta y CO₂ ambiental. En conclusión, las plantas en ambientes más estresantes mostraron mejor respuesta fotoquímica y mayor expresión de *psbA* y acumulación de D1 y Rubisco, indicando una capacidad de adaptación fisiológica y molecular al estrés por temperatura y CO₂.

EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL CO₂ ELEVADO EN LA ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA DE PAPAYA (*CARICA PAPAYA*)

Jehú G. Noh-Kú^{1*}, Adrián Fernández Basto¹, Alejandra González Moreno¹, Esaú Ruiz Sánchez¹,
Horacio Salomón Ballina Gómez¹ René Garruña¹

¹Programa de Maestría en Ciencias en Horticultura Tropical, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

Autor de Correspondencia: jehunohku@gmail.com

RESUMEN

En la actualidad, el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, especialmente el dióxido de carbono (CO₂), está provocando un aumento de la temperatura global del planeta. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la temperatura alta y el CO₂ elevado en el intercambio de gases de plantas de papaya (*Carica papaya*). Se utilizaron cuatro cámaras de crecimiento con diferentes condiciones de temperatura y CO₂ (A1: 30 °C y 400 ppm de CO₂; A2: 30 °C y 1200 ppm de CO₂; A3: 40 °C y 400 ppm de CO₂; A4: 40 °C y 1200 ppm de CO₂). Se evaluó con dos niveles de referencia de CO₂ (400 y 1200 ppm). En todos los casos se observó que al ser comparadas con las plantas del ambiente control (A1: 30 °C y 400 ppm de CO₂), tanto la temperatura alta como en la concentración de CO₂ elevado la fotosíntesis (A_N), la concentración de carbono intercelular (C_i) y la conductancia estomática (g_s) disminuyeron al menos 48% a 400 ppm, 17% a 1200 ppm; 0% a 400 ppm, favoreció un 21% a 1200 ppm y 68% a 400 ppm, favoreció un 72% a 1200 ppm. Por otra parte, en la eficiencia del uso del agua no se observaron diferencias estadísticas significativas. Por lo tanto, se concluye que el intercambio de gases en las plantas de papaya fue afectado por las temperaturas altas y el CO₂ elevado. El efecto negativo ocasionado por la temperatura alta es común en la mayoría de las especies, pero el efecto negativo del CO₂ elevado en los parámetros de intercambio de gases es probable que haya sido por una saturación en los fotosistemas, ocasionada por falta de aclimatación de las plantas en escenarios con CO₂ enriquecido.

REQUERIMIENTOS DE LUZ EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE *PINUS CHIAPENSIS* EN VERACRUZ

Virginia Rebolledo Camacho^{1*}, Susana Guillén Rodríguez¹, Giovanni Y. Zurita González²

¹Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Veracruzana. Parque El Haya. Colonia Benito Juárez. C.P. 91070, Xalapa Veracruz.

²Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. Circuito Universitario, Centro. Xalapa, Veracruz. C.P. 91000.

Autor de correspondencia: vrebolledo@uv.mx

RESUMEN

Pinus chiapensis requiere para su crecimiento de condiciones húmedas y cálidas, por lo que su distribución se restringe a franjas altitudinales específicas de los bosques de niebla. Debido a las limitaciones de su distribución y a diversas actividades antropogénicas, las poblaciones de esta especie se encuentran formando pequeños manchones de bosque aislados y con baja densidad de individuos, por lo que se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL. Particularmente se ha observado una baja regeneración natural de este pino en las poblaciones ubicadas en los estados de Puebla y Veracruz, esto a pesar de que sus semillas han registrado una aceptable calidad germinativa. El objetivo fue evaluar la germinación y crecimiento inicial de *P. chiapensis* en tres intensidades de luz natural dadas por la cobertura arbórea. Se realizó un experimento de parcelas divididas, se eligieron en el Parque el Haya tres sitios con diferente cobertura (parcela grande: intensidad alta, media y baja) en donde se sembraron 50 semillas de tres sitios de colecta de Veracruz (parcela chica) y se realizaron cuatro réplicas. Se registró la germinación diaria durante 30 días. Se midió la altura y el diámetro de una muestra de plántulas, a la par que se registró la sobrevivencia de estas, durante dos meses y medio. La germinación inició a los 11 días y fue similar entre las condiciones de luz (15-22%) aunque el mayor porcentaje fue en sombra, pero diferente entre los sitios (7-30%). La altura y el diámetro se vieron favorecidos en el sitio con luz alta, al igual que la sobrevivencia. Estudios previos determinan que la especie germina y crece mejor en sitios con claros, lo que refuerza los resultados obtenidos. Se concluye que *P. chiapensis*, requiere de condiciones particulares de luz para su germinación y crecimiento en áreas boscosas, siendo intolerante a la sombra.

REQUERIMIENTOS DE LUZ EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE *PINUS CHIAPENSIS* EN VERACRUZ

Virginia Rebolledo Camacho^{1*}, Susana Guillén Rodríguez¹, Giovanni Y. Zurita González²

¹Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Veracruzana. Parque El Haya. Colonia Benito Juárez. C.P. 91070, Xalapa Veracruz.

²Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. Circuito Universitario, Centro. Xalapa, Veracruz. C.P. 91000.

Autor de correspondencia: vrebolledo@uv.mx

RESUMEN

Pinus chiapensis requiere para su crecimiento de condiciones húmedas y cálidas, por lo que su distribución se restringe a franjas altitudinales específicas de los bosques de niebla. Debido a las limitaciones de su distribución y a diversas actividades antropogénicas, las poblaciones de esta especie se encuentran formando pequeños manchones de bosque aislados y con baja densidad de individuos, por lo que se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL. Particularmente se ha observado una baja regeneración natural de este pino en las poblaciones ubicadas en los estados de Puebla y Veracruz, esto a pesar de que sus semillas han registrado una aceptable calidad germinativa. El objetivo fue evaluar la germinación y crecimiento inicial de *P. chiapensis* en tres intensidades de luz natural dadas por la cobertura arbórea. Se realizó un experimento de parcelas divididas, se eligieron en el Parque el Haya tres sitios con diferente cobertura (parcela grande: intensidad alta, media y baja) en donde se sembraron 50 semillas de tres sitios de colecta de Veracruz (parcela chica) y se realizaron cuatro réplicas. Se registró la germinación diaria durante 30 días. Se midió la altura y el diámetro de una muestra de plántulas, a la par que se registró la sobrevivencia de estas, durante dos meses y medio. La germinación inició a los 11 días y fue similar entre las condiciones de luz (15-22%) aunque el mayor porcentaje fue en sombra, pero diferente entre los sitios (7-30%). La altura y el diámetro se vieron favorecidos en el sitio con luz alta, al igual que la sobrevivencia. Estudios previos determinan que la especie germina y crece mejor en sitios con claros, lo que refuerza los resultados obtenidos. Se concluye que *P. chiapensis*, requiere de condiciones particulares de luz para su germinación y crecimiento en áreas boscosas, siendo intolerante a la sombra.

ANATOMÍA Y SEGUIMIENTO DE GERMINACIÓN BAJO ESTEREOSCOPIO EN SEMILLAS DE *MOMORDICA CHARANTIA* DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Itzel Guadalupe Núñez-Andrade¹, Leydi del Rocío Canche-Moo², Julia del Socorro Cano-Sosa^{*3}

¹Programa de Maestría en Ciencias de la floricultura, Centro de Investigación y asistencia en Tecnología y diseño del estado de Jalisco, Subsede Sureste. Carretera Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto Parque Científico Tecnológico de Yucatán CP: 97302 Mérida, Yucatán, México

²Secretaría de Ciencia Humanidades Tecnología e Innovación -Centro de Investigación y asistencia en Tecnología y diseño del estado de Jalisco Subsede Sureste. Carretera Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto Parque Científico Tecnológico de Yucatán CP: 97302 Mérida, Yucatán, México

³Centro de Investigación y asistencia en Tecnología y diseño del estado de Jalisco Subsede Sureste. Carretera Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto Parque Científico Tecnológico de Yucatán CP: 97302 Mérida, Yucatán, México

RESUMEN

La península de Yucatán posee una riqueza en flora de la región tanto en plantas nativas como introducidas, tal es el caso de *Momordica charantia* L., esta es una hortaliza de la familia de las Cucurbitáceas, extendida por todo el mundo. Útil en la medicina tradicional china y también en la medicina ayurvédica en la India. Entre sus propiedades etnobotánicas se encuentra el uso de *M. charantia* L. como verdura y su uso medicinal contra la diabetes mellitus. Asimismo, en diversas comunidades, se utilizaba como planta de jardín (Andrade-Kujundzic *et al.*, 2012). Además de su utilidad como colorante los frutos inmaduros contienen principalmente clorofilas (a y b), responsables de la coloración verde. Al madurar, disminuyen las clorofilas y se acumulan carotenoides y flavonoides, lo que provoca la aparición de un color anaranjado en los frutos maduros (Hsiang yi & Ching Hsiang, 2017). Sin embargo, existe poca información documentada sobre la germinación de *M. charantia*. Debido a lo anterior el objetivo de este trabajo de investigación, fue documentar la semilla y el proceso de germinación de *M. charantia* y observar bajo un estereomicroscopio, siendo uno de los resultados más significativos de este trabajo de investigación el poder observar el proceso y fases de germinación, comenzando con la imbibición, el rompimiento de la testa, y finalmente es posible observar la emergencia de la plántula. Este trabajo permitirá continuar con la propagación de la planta tanto *in vitro* como *ex vitro* para diferentes tipos de investigación.

EFFECTOS MORFO-FISIOLÓGICOS DE LA IRRADIACIÓN CON ⁶⁰CO EN ALGODÓN

Liliana Justo Martínez^{1*}, Serafín Cruz Izquierdo^{2*}, Oscar Martín Antúnez Ocampo³, Ricardo Lobato Ortiz², Alfredo Carrillo Salazar²

¹Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fisiología Vegetal. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados.

²Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Iguala.

Autor de Correspondencia: lilijmtz96@gmail.com

RESUMEN

El algodón es el cultivo más importante en la producción de fibra, y México es un país clave en su diversidad genética. La generación de variabilidad genética inducida mediante mutagénesis física representa una alternativa para el mejoramiento de cultivos como el algodón. En esta investigación se evaluaron los efectos morfo-fisiológicos de la irradiación de semillas con Cobalto-60 (500 Gy). Se establecieron dos poblaciones: una derivada de semillas irradiadas y otra de semillas no irradiadas. Se seleccionaron al azar plantas de ambas poblaciones, a las cuales se les midieron las siguientes variables: altura de planta, ancho de dosel, número de cápsulas y semillas, peso de fibra, peso fresco y seco del vástago, y peso de 100 semillas. Los resultados mostraron que el grupo de las irradiadas presentaron en promedio valores superiores en todas las variables evaluadas. Por ejemplo, la altura promedio fue de 78.46 cm en las plantas irradiadas frente a 69.48 cm en las no irradiadas. De igual forma, se registraron mayores promedios en número de cápsulas (44.92 vs 28.14), peso de fibra (0.054 g vs 0.038 g), y peso seco de vástago (105.35 g vs 65.73 g), entre otros. Las diferencias entre tratamientos fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Wilcoxon. Estos resultados sugieren que la irradiación promovió una mayor expresión fenotípica en las poblaciones evaluadas, lo que podría atribuirse a efectos de estimulación fisiológica en las plantas. La mutagénesis física demostró ser una herramienta efectiva para inducir variación morfo-fisiológica con potencial para la selección de genotipos sobresalientes en programas de mejoramiento genético del algodón.

EFECTO DE ACARICIDAS BOTÁNICOS EN EL INTERCAMBIO DE GASES EN PLANTAS DE PAPAYA

Adrián Israel Fernández-Basto^{1*}, Jehú Gualberto Noh-Kú¹, Alejandra del Socorro González-Moreno¹, Esaú Ruíz-Sánchez¹, Marcos Enrique Cua-Basulto¹, René Garruña¹

¹Programa de Maestría en Ciencias en Horticultura Tropical, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

Autor de Correspondencia: israel.agro28@gmail.com

RESUMEN

El cultivo de papaya es importante en regiones tropicales; sin embargo, para mantener su producción es fundamental controlar las plagas, principalmente los ácaros. Recientemente se ha reportado el uso de acaricidas botánicos con resultados eficientes, pero diversos estudios han reportado una disminución en la actividad fotosintética. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de acaricidas botánicos sobre el intercambio de gases en plantas de papaya. Se evaluó la fotosíntesis, la conductancia estomática y la transpiración. Los tratamientos botánicos fueron aceite de soya (*Glycine max*), aceite de maíz (*Zea mays*), aceite de orégano (*Origanum vulgare*), aceite de lavanda (*Lavandula angustifolia*); además como control químico la abamectina y como testigo total un lote de plantas sin aplicación. Todos los tratamientos disminuyeron la población de ácaro (*T. urticae*). Pero, los aceites de maíz y soya disminuyeron la fotosíntesis (69.7 y 64%), la conductancia estomática (59.7 y 57.3%) y la transpiración (45.6 y 52.7%) con respecto al testigo. Sin embargo, siete días después de la aplicación, los valores fisiológicos se estabilizaron. Es necesario seguir investigando al respecto para determinar con mayor precisión la relación costo beneficio a nivel fisiológico al utilizar acaricidas botánicos.

EFFECTO DE LA IRRADIACIÓN GAMMA EN VARIABLES FISIOLÓGICAS Y PESO DE FRUTO DE POBLACIONES M₁ DE *PHYSALIS PERUVIANA* L.

Christian Alberto Moreno Rodas¹, Serafín Cruz Izquierdo^{2*}, Fernando Castillo González², Manuel Sandoval Villa³, Oscar Martín Antúnez Ocampo⁴, Aureliano Peña Lomelí⁵

¹Postgrado de Doctorado en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad-Fisiología Vegetal, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, EdoMex.

²Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética,

³Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, EdoMex

⁴INIFAP-Iguala, Gro.,

⁵Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, EdoMex.

Autor de Correspondencia: sercruz@colpos.mx

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la irradiación gamma en semillas de *Physalis peruviana* L. sobre variables fisiológicas y una variable física en poblaciones M₁. Se emplearon cuatro ecotipos (Colombia, Chiclayo, Sacha y Modificada) y las semillas fueron expuestas a dosis de 0, 5, 25, 50, 100, 150, 175 y 200 Gy de rayos gamma, emitidos fuente de Cobalto60 (⁶⁰Co), bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial ecotipo × dosis. Las variables se registraron durante el ciclo productivo en condiciones controladas. Los días a emergencia mostraron variaciones significativas con respuestas horméticas: dosis bajas aceleraron la germinación, mientras que dosis altas provocaron retrasos. En días a floración, la respuesta fue dependiente del ecotipo, observándose adelantos con dosis intermedias, lo que sugiere estimulación del desarrollo reproductivo. El amarre de fruto presentó mayor porcentaje con dosis bajas, disminuyendo progresivamente en tratamientos superiores a 150 Gy, reflejando sensibilidad en la fase de cuajado. El peso de fruto, como variable física, aumentó significativamente en dosis moderadas (25–50 Gy) y se redujo en dosis elevadas, evidenciando un umbral fisiológico de tolerancia a la radiación. En conjunto, los resultados demuestran que la irradiación gamma puede modular de manera selectiva el comportamiento fenológico y productivo de la uchuva, generando respuestas positivas bajo condiciones controladas si se aplican dosis adecuadas. Estos hallazgos respaldan el potencial de la mutagénesis física como herramienta de mejoramiento genético en *Physalis peruviana* L., tanto para optimizar la precocidad fenológica como para incrementar la productividad del fruto.

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE SALVIA MEXICANA L. (LAMIACEAE)

María Fernanda Miranda-Hernández^{1*}, Fabiola Dafne Saavedra Millán¹, Carlos Alberto Ruiz Jiménez²

¹Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle – Escuela Cristóbal Colón. Avenida Miguel Bernard # 52, Col. Siete Maravillas. C.P. 07320 Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México.

²Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

Autor de correspondencia: mmirandah_jb@ecc.edu.mx

RESUMEN

El tlacote (*Salvia mexicana*) planta arbustiva perenne, nativa y endémica, distribuida en bosques templados y pastizales de las sierras de México; es ornamental, melífera, forraje con semilla comestible. El objetivo fue evaluar la germinación de semillas de *Salvia mexicana*. Las semillas se colectaron en ejemplares del Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle (Ciudad de México) de 2023 a 2025. El ensayo de germinación constituye un diseño experimental completamente aleatorio, los tratamientos pre-germinativos consistieron en: imbibición en agua destilada (A) y agua oxigenada (AO), con cinco tiempos de duración 6, 12, 18, 24 y 48 horas c/u, cada tratamiento incluyó tres réplicas de 30 semillas por caja Petri. Los resultados de germinación se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos (gráficos) y analíticos (índices). La ANOVA ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación no presentan diferencias significativas entre los tratamientos de imbibición en agua, sus valores porcentuales de germinación se clasifican como muy bajos (<40) y medios (55 y 70%). Para los tratamientos con agua oxigenada la prueba de Tukey indicó que los porcentajes de germinación de los tratamientos AO24 y AO18 presentan medias estadísticamente significativas. Los valores porcentuales se clasifican como muy bajos (<40) y bajos (40 a 55%). La ausencia de germinación en el tratamiento AO48 puede deberse a que el tiempo de imbibición provocó daño en los embriones. El porcentaje de germinación del Control fue bajo (<40%). Recomendamos el uso de imbibición en agua destilada (18 horas) para germinación de *Salvia mexicana*.

COLECCIONES VIVAS DE *CARICA PAPAYA* L., A PARTIR DE CULTIVO *IN VITRO* Y SEMILLA: ASPECTOS FISIOLÓGICOS DURANTE SU ESTABLECIMIENTO

Jorge M. Santamaría^{1*}, Alexa Andrade¹, Eduardo Castillo¹, Amaranta Girón-Ramírez¹, Yessica Bautista-Bautista¹, Erick Arroyo-Álvarez¹, Gabriela Fuentes².

¹Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. (CICY).

²Investigador Independiente

RESUMEN

México es el principal exportador mundial y 3er productor de *papaya* que tiene importancia como alimento funcional y nutraceutico. Yucatán es parte del centro de origen se encuentran poblaciones silvestres que han reducido su área debido a la expansión urbana y vías de comunicación. Sus semillas son recalcitrantes (pierden viabilidad), lo que es imprescindible contar con métodos alternativos para la conservación y preservación de éste recursos fitogenéticos, reservorio único de genes de resiliencia a factores bióticos y abióticos. El objetivo del presente fue desarrollar plantas de papaya silvestre a partir de cultivo *in vitro* y de la germinación de semillas colectadas en diferentes sitios remotos de Yucatán, caracterizando crecimiento (alto, número de hojas, etc.), y fisiología (intercambio de gases y fluorescencia). Se logró introducir *in vitro* diferentes accesiones de papaya silvestre, logrando un protocolo exitoso para introducir y multiplicar accesiones silvestres de papaya, se cuentan con plantas en la fase de elongación y multiplicación. Por otro lado, plantas derivadas de semillas de nueve accesiones, ya se encuentran ya establecidas en un banco de germoplasma *ex situ*. Las diferentes accesiones presentan un crecimiento diferencial: la clona C7 muestra mayor grosor de tallo y altura de planta, mientras las clonas C1 y C10, muestran el crecimiento más bajo. También se cuentan con accesiones con flores e inflorescencias mientras otras aun no desarrollan órganos florales. Se siguen caracterizando fisiológicamente dichas accesiones silvestres derivadas de ambos métodos de conservación y preservación, cultivo *in vitro* y de semillas en 2 bancos de germoplasma *ex situ*.

ECOFISIOLOGÍA VEGETAL

APLICACIÓN R-SHINY PARA LA CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE RECURSOS FITOGENÉTICOS, CASO *VANILLA DRESSLERI* SOTO ARENAS

Francisco Fabián Calvillo-Aguilar^{1*}, Marco Aurelio Aragón-Magadán¹, Carlos Alberto Aguirre-Gutiérrez², Carlos Iván Cruz-Cárdenas¹, Gabriela Sandoval-Cancino¹

¹Centro Nacional de Recursos Genéticos, INIFAP.

²CENID Agricultura Familiar, INIFAP.

*Autor de correspondencia: calvillo.francisco@inifap.gob.mx

PALABRAS CLAVE: R/Shiny, ecogeografía, clima.

INTRODUCCIÓN

La caracterización ecogeográfica, entendida como el análisis de cualquier información ambiental del sitio donde un individuo o población está presente, y que permite relacionar su adaptación a los factores abióticos y bióticos más importantes (Parra-Quijano et al., 2012), es una fuente de información relevante en la gestión de la conservación y aprovechamiento de los recursos fitogenéticos, especialmente contribuye en la identificación de las características de interés para los programas de mejoramiento. En el contexto del cambio climático, la caracterización de los elementos climáticos tales como la temperatura, precipitación y sus derivados, contribuye a identificar materiales con tolerancias a sequía, temperatura, entre otras.

Una herramienta para realizar el análisis ecogeográfico, es la aplicación R/Shiny, la cual consiste en un paquete para generar entornos gráficos y dinámicos para la visualización y análisis de datos utilizando el lenguaje R y/o Python (Wickham, 2021). R/Shiny es altamente configurable en entorno y algoritmos, lo que permite crear páginas web o *dashboard* acordes a las necesidades de los usuarios objetivo. En este sentido, con la finalidad de desarrollar una herramienta accesible para la caracterización climática de especies o cultivos, sin la necesidad del dominio del software SIG o conocimientos de programación, se desarrolló la aplicación EcoGEN-Clima, tomando como especie modelo a *Vanilla dressleri* Soto Arenas, pariente silvestre centroamericano de la vainilla (Flanagan et al., 2022).

OBJETIVO

Generar rutina en R/Shiny, accesible y de bajos requerimientos de cómputo, para la rápida caracterización climática de recursos fitogenéticos recolectados en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó rutina de programación con la aplicación Shiny/R 1.10, bajo el entorno de RStudio 2025.05.1, dividida en cuatro secciones: A. Ocurrencias/XY, B. Variables escenopoéticas, C. Caracterización Climática y Cartografía (Figura 1).

- A. Ocurrencias/XY: carga de coordenadas de registros u ocurrencias en formato csv, realiza la limpieza de registros vacíos y duplicados espaciales a 0.01° de resolución; y genera mapa dinámico de visualización de registros.
- B. Variables escenopoéticas: descarga de capas climáticas históricas (1970-2000) del WorldClim 2.0 (Fick & Hijmans, 2017), radiación media anual, precipitación media anual, temperatura media anual, temperatura mínima y máxima media anual, con opción de elegir diferentes resoluciones espaciales (2.5, 5 y 10 minutos).
- C. Caracterización Climática: muestreo de los valores las variables climáticas correspondientes a cada uno de los registros u ocurrencias, además presenta cuadro resumen del valor promedio, mínimo y máximo de cada variable.
- Cartografía: genera polígono de extensión máxima de los registros u ocurrencias con buffer de 0.01°, despliega mapa de visualización y crea mapas por variable climática.

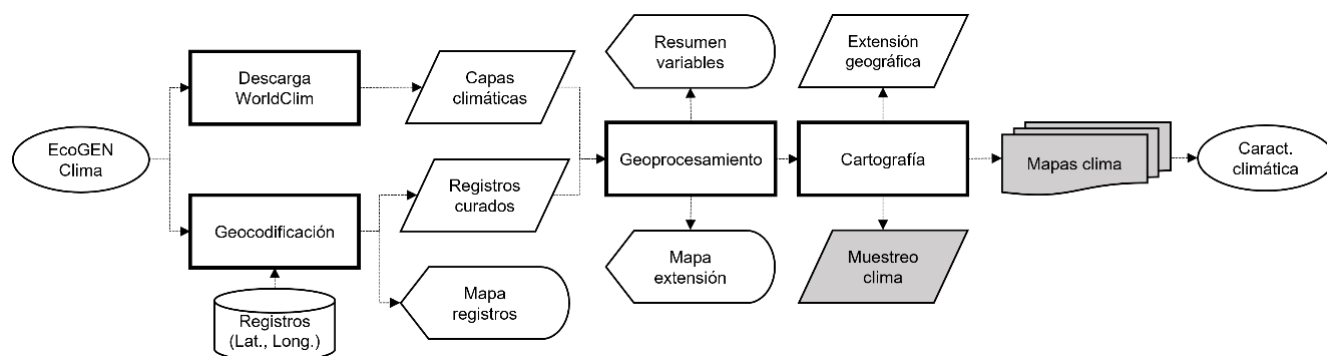


Figura 1. Flujo de trabajo de la aplicación r/Shiny: EcoGEN-Clima para la caracterización climática de recursos fitogenéticos.

EcoGEN-Clima requiere conexión web para la descarga de capas climáticas, sin embargo, el usuario puede ingresar diferentes archivos tipo ráster desde su ordenador, las salidas de la rutina son:

- Capas climáticas WorldClim a resolución elegida y extensión global (.tif)
- Registros u ocurrencias con coordenadas corregidas (.csv).
- Registros u ocurrencias con muestreo de capas climáticas (.shp).
- Resumen estadístico de variables climáticas (.csv).
- Polígono de extensión máxima de registros u ocurrencias (.csv).

- Figura tipo mapa por capa climática, con extensión y registros u ocurrencias (.jpg a 300 ppi).

Como especie modelo se eligió a *Vanilla dressleri* Soto Arenas, pariente silvestre de la vainilla y con distribución geográfica en Centro América (Flanagan *et al.*, 2022), *V. dressleri* es importante además de su función ecológica, como fuente de caracteres hereditarios para programas de mejoramiento. Los registros u ocurrencias fueron adquiridos desde el portal del GBIF (GBIF, 2025).

RESULTADOS

El desarrollo de la aplicación R/Shini: EcoGen-Clima, ofreció una interfaz gráfica dinámica (Figura 2), con botones de acción para ejecutar algoritmos, el acceso a archivos descarga de las capas climáticas del WorldClim (5 min) y permitió la curaduría de las ocurrencias de *V. dressleri* de 28 a 19 registros válidos.

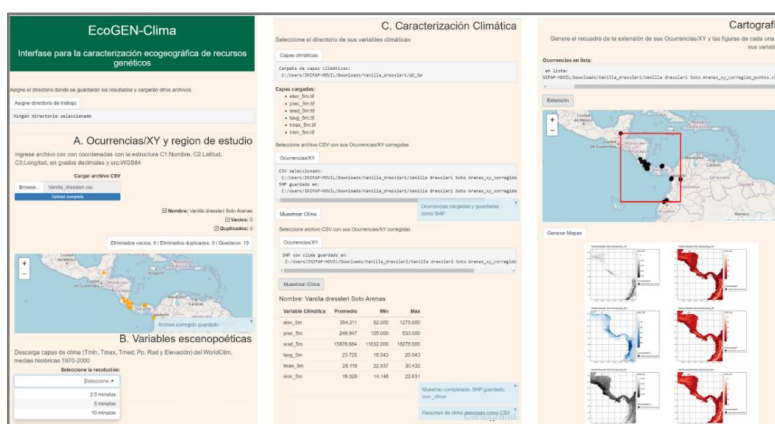


Figura 2. Interfaz de EcoGEN-Clima con los resultados de la caracterización climática de *Vanilla dressleri* Soto Arenas.

La especie modelo para la prueba piloto de la aplicación, *V. dressleri* mostró una distribución acorde a lo reportado por Flanagan *et al.*, (2022), centrándose en Centroamérica, principalmente en Costa Rica, Panamá y Colombia. Los valores ambientales de su localización geográfica (Cuadro 1) reflejan un amplio rango de adaptación en elevación (52 a 1275 msnm) y precipitación (105 a 533 mm). Sin embargo, solo se consideraron 19 registros, que pueden considerarse pocos para la extensión territorial de la especie, no obstante, reflejan la necesidad de más estudio y la conservación de la especie.

Cuadro 1. Resumen de la caracterización climática de *Vanilla dressleri* Soto Arenas generado con la aplicación R/Shiny: EcoGEN-Clima.

Variable Climática	Síntesis estadística		
	Promedio	Mínimo	Máximo
Elevación (m)	394.2	52.0	1,275.0
Precipitación (mm)	249.9	105.0	533.0
Radiación (kJ m ⁻² día ⁻¹)	15,876.6	11,632.0	18,278.0
Temperatura media (°C)	23.7	18.5	25.9
Temperatura máxima (°C)	28.1	22.9	30.4
Temperatura mínima (°C)	19.3	14.1	22.6

CONCLUSIONES

El desarrollo de la aplicación fue satisfactorio, permitió de una manera ágil obtener los datos climáticos de los registros ingresados, además de la descarga de datos completos del WordClim, la salida de las figuras como mapas en formato para artículo científico libera al usuario del software SIG o de una mayor programación en R-RStudio. Sin embargo, se identificaron áreas de oportunidad como el acceso a otras fuentes de datos climáticos, tales como las 19 capas bioclimáticas del WorldClim u otros proveedores como CHELSA, la consulta vía web de registros como el mismo GBIF y otras variables ambientales no climáticas, aspectos que serán retomados para la segunda versión de la aplicación.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Agradecemos al INIFAP quién brindó el apoyo institucional para el desarrollo del presente estudio.

LITERATURA CITADA

Fick, S. & Hijmans R. (2017). WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12):4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Flanagan, N., Navia-Samboni, A., González-Pérez, E., & Mendieta-Matallana, H. (2022). Distribution and conservation of vanilla crop wild relatives: The value of local community engagement for biodiversity research. *Neotropical Biology and Conservation*, 17(3), 205-227. <https://doi.org/10.3897/neotropical.17.e86792>

GBIF. (2025). Global Biodiversity Information Facility: *Vanilla dressleri*. GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.q9en8m>

Parra-Quijano, M., Iriondo, J., & Torres, E. (2012). Review. Applications of ecogeography and geographic information systems in conservation and utilization of plant genetic resources. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(2), 419-429. <https://doi.org/10.5424/sjar/2012102-303-11>

-
- Thormann, I., Parra-Quijano, M., Endresen, D., Rubio-Teso M., Iriundo M., & Maxted N. (2014). Predictive characterization of crop wild relatives and landraces. Technical guidelines version 1. Biodiversity International, Rome Itali.
- Wickham Hadley. (2021). Mastering Shiny. Web-book: <https://mastering-shiny.org/>

TILLANDSIA COMO SENSORES VIVOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL AÉREO EN LA ZONA METROPOLITANA DE MÉRIDA

Nahlleli Civi Chilpa Galván^{1*}, Fernanda Wendy Mora Valdivia², Rosy Aicely León Puc², Roberth Armando Us Santamaría¹, Gloria Natividad Puc Solís² y José Luis Andrade Torres¹

¹Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Chuburná de Hidalgo; CP 97205, Mérida, Yucatán.

²Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil Km. 15.5 Tizapán, 97100 Mérida, Yucatán.

*Autor de correspondencia: nahlleli.civi@gmail.com

PALABRAS CLAVE: Biomonitor, Material aereotransportado, Tricomas.

INTRODUCCIÓN

En la Zona Metropolitana de Mérida (ZMM), la cual está conformada por seis municipios (Conkal, Kanasín, Mérida, Progreso, Ucú y Umán), se observa cada vez más escasez de vegetación en las zonas urbanas y un aumento del tráfico vehicular. En esta escasa vegetación de la ZMM se encuentran las bromeliáceas epífitas, del género *Tillandsia*, que habitan en árboles que decoran las viviendas, calles y avenidas. Desde hace unos años, algunas especies de bromeliáceas epífitas, se han utilizado como biomonitoras de contaminación ambiental urbana. La presencia de tricomas peltados en las hojas de las *Tillandsia* amplía las interfaces planta-aire, por lo que reciben el agua atmosférica (lluvia, rocío, niebla) junto con otras sustancias presentes en la humedad atmosférica como pueden ser aerosoles y partículas dispersas en el aire. Por ello, el conocer el material aerotransportado presente en la superficie foliar de las *Tillandsia* y sus árboles hospederos, nos puede proporcionar información del contenido atmosférico e incluso poder determinar las zonas más contaminadas de la ZMM.

OBJETIVO

Analizar el material aerotransportado presente en la superficie foliar de las especies más abundantes de *Tillandsia* y sus árboles hospederos de la Zona Metropolitana de Mérida, para conocer y poder determinar el contenido de partículas dispersas adheridas a la superficie foliar y así proporcionar información del contenido atmosférico e incluso poder determinar las zonas más contaminadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La colecta del material vegetal de ejemplares adultos de *Tillandsia* y de hojas de los árboles hospederos se llevó a cabo en los años 2023 y 2024 en diversos puntos al azar dentro de los seis municipios que conforman la ZMM. Se seleccionaron las especies más abundantes de *Tillandsia* y se tomaron muestras de los árboles hospederos donde estas habitaban. Se colectó el contenido de

las rosetas de las *Tillandsia*, este material fue separado por categorías y tamaños, para poder identificar la procedencia del mismo. Se realizó un registro fotográfico de las rosetas de ejemplares adultos de *Tillandsia*. Se tomaron muestras foliares adaxiales de las hojas de las especies más abundantes, se fijaron en FAA (10 % de formaldehído, 5 % de ácido acético, 50 % de alcohol etílico y 35 % de agua destilada) durante 24 h y posteriormente se deshidrató progresivamente mediante una serie de etanol (30, 50, 70 y 85 %, v/v) para posteriormente realizar un escaneo en el microscopio electrónico de barrido (MEB) del material aerotransportado depositado.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se seleccionaron sitios de muestreo al azar en los seis municipios de la ZMM. Se recolectaron hojas adultas de *Tillandsia* y de sus árboles hospederos durante 2023 y 2024. Se extrajo el contenido de las rosetas y se clasificó. Las hojas fueron analizadas con MEB para identificar partículas aerotransportadas, así como el material del contenido de la roseta y comparar su presencia entre municipios.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Los datos obtenidos del análisis con MEB se organizarán por tipo y cantidad de partículas aerotransportadas adheridas a las superficies foliares de *Tillandsia* y sus árboles hospederos en cada sitio de muestreo. Se aplicará un análisis de varianza (ANOVA) para comparar la acumulación de partículas entre municipios. Se realizará una prueba post hoc (Tukey) para identificar las diferencias entre las variables. Además, se utilizará un análisis de correlación de Pearson para explorar la relación entre la cantidad de partículas y entre sitios.

RESULTADOS

Tillandsia brachycaulos, *T. recurvata* y *T. yucatana* son las bromeliáceas epífitas más abundantes en la ZMM y se encuentran en 12 especies de árboles hospederos, en su mayoría especies introducidas. En el contenido de las rosetas se observan en mayor cantidad restos florales y hojas secas tanto de la propia epífita como de las hojas del árbol hospedero, principalmente en la parte norte de la ZMM. Hay poco material de suelo o polvo. En el escaneo se observan los tricomas de las *Tillandsia*, en Mérida (centro) estos se muestran con más deterioro, en la superficie foliar de los hospederos se pueden apreciar algunos estomas, (dependiendo de la especie). Del material aerotransportado en la superficie foliar se observan hifas de hongos, polen, pequeños insectos y material no identificado. El $12.8 \pm 8.7\%$ de cobertura de hifas es para Ucú, el 7.4 ± 7.0 es para Mérida (centro) y el $3.9 \pm 2.1 \%$ para Progreso. Del material particulado no identificado Ucú y Mérida (sur) presentaron el 2.5 ± 0.9 y 2.3 ± 0.8 , respectivamente. Es posible que lo observado en estos municipios se deba al material de construcción (fraccionamientos, puentes y vía férrea).

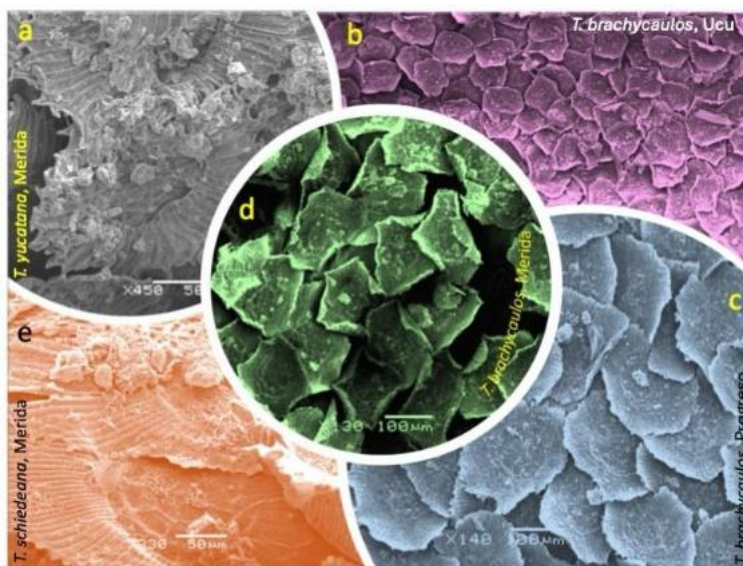


Figura 1. Revisión de la superficie foliar de tres especies de *Tillandsia* en diversos municipios de la ZMM, donde se puede observar los tricomas y parte del material aerotransportado. a: *Tillandsia yucatana* de Mérida, b: *T. brachycaulos* de Ucú, c: *T. brachycaulos* de Progreso, d: *T. brachycaulos* de Mérida, e: *T. schiedeana* de Mérida

CONCLUSIONES

Las especies *Tillandsia brachycaulos*, *T. recurvata* y *T. yucatana* son las más abundantes en la ZMM y presentan un alto potencial como biomonitoras de contaminación atmosférica, esto se ve reflejado en su capacidad para retener compuestos atmosféricos, como lo pueden ser polen, insectos, hongos y partículas no identificadas, así como el deterioro de los tricomas en zonas más urbanizadas. También se observó una mayor acumulación de material aerotransportado en municipios como Ucú y zonas del sur y centro de Mérida, lo cual podría estar relacionado con actividades constructivas como fraccionamientos, vías férreas y puentes. Con este análisis del material acumulado en las superficies foliares de *Tillandsia* permitirá detectar variaciones espaciales en la calidad del aire, siendo una herramienta útil para el monitoreo ambiental en áreas urbanas en expansión.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Agradecemos al Parque Nacional Dzibilchaltún INAH, a la Reserva de Cuxtal. M.en C. Marypaz Ramírez Medina por la realización del mapa de la ZMM. Biól. Lilia Lorena Can Itzá por el escaneo en MEB. Nahlleli Chilpa recibió una beca de estancia posdoctoral de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) (272880).

LITERATURA CITADA

- Brighigna, L., Papini, A., Mosti, S., Cornia, A., Bocchini, P., & Galletti, G. (2002). The use of tropical bromeliads (*Tillandsia* spp.) for monitoring atmospheric pollution in the town of Florence, Italy. *Revista de Biología Tropical*, 50(2), 577 – 584.
- de Oliveira M.L., de Melo E.J.T., & Costa F.M. (2016). *Tillandsia stricta* Sol (Bromeliaceae) leaves as monitors of airborne particulate matter—A comparative SEM methods evaluation. *Microscopy Research and Technique*. DOI 10.1002/jemt.22714
- Indicadores de desarrollo Zona Metropolitana de Mérida, Reporte 2012. CIVESTAV del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida.
- Segala Alves, E., Baêso Moura, B. & Domingos, M. (2008). Structural Analysis of *Tillandsia usneoides* L. Exposed to Air Pollutants in São Paulo City–Brazil. *Water Air Soil Pollut*, 189(1), 61 – 68.

ESTRÉS FISIOLÓGICO POR CONTAMINACIÓN VEHICULAR EN ÁRBOLES DE LA CIUDAD DE MÉRIDA YUCATÁN

Olivia Zapata Martínez^{1*}, Ingrid Aileen O'connor Sánchez¹, Mirbella del Rosario Cáceres Farfán¹,
Roberth Armando Us Santamaria¹ y José Luis Andrade¹.

¹Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. (CICY), Calle 43 No. 130, entre calles 32 y 34, Colonia Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México

*Autora de correspondencia: Olivia Zapata Martínez.

PALABRAS CLAVE: Fisiología, estrés, contaminación.

INTRODUCCIÓN

La adecuada planificación de las áreas verdes urbanas es fundamental para lograr un desarrollo urbano sostenible, particularmente ante el rápido crecimiento poblacional observado en estados como Yucatán (INEGI, 2020). Las áreas verdes urbanas, definidas como sistemas naturales o seminaturales integrados en zonas urbanizadas, proporcionan importantes beneficios ambientales y sociales, entre ellos la regulación térmica, la reducción del ruido, la captación de aguas pluviales y la conservación de la biodiversidad (Ivashchenko *et al.*, 2022; Carrillo, 2022). Aunque en Yucatán se han llevado a cabo algunos estudios sobre la fisiología de especies arbóreas urbanas (Carrillo, 2022; Casanova, 2022), aún es necesario profundizar en el análisis de los cambios fisiológicos que presentan los árboles expuestos a contaminantes, en específico aquellos asociados con la congestión del tráfico vehicular. La comparación entre árboles ubicados en zonas urbanas con alta, media y baja congestión de tráfico vehicular permitirá identificar los efectos provocados por la contaminación, tales como la disminución de pigmentos fotosintéticos y alteraciones en la fotosíntesis, entre otros. Comprender estas respuestas fisiológicas facilitará la selección adecuada, ubicación estratégica y manejo del arbolado urbano, contribuyendo así a mejorar las condiciones ambientales tanto para los árboles como para la población que habita en su entorno.

OBJETIVO

Analizar indicadores fisiológicos de estrés en individuos de dos especies de árboles expuestos a niveles bajo, medio y alto de tráfico vehicular en dos temporadas del año en la ciudad de Mérida, Yucatán.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona metropolitana de Mérida se dividió en cuatro sectores y se utilizó la herramienta i-Tree para evaluar la homogeneidad de cada uno mediante el porcentaje de áreas impermeables. Se seleccionó el sector con mayor porcentaje y, con apoyo de Google Traffic, se identificaron las avenidas con mayor congestión vehicular. En estas vías se realizó un inventario de especies arbóreas y se seleccionaron aquellas que coincidían en diámetro de fuste y altura. Posteriormente, se

localizaron ejemplares de las mismas especies y características en avenidas con baja congestión vehicular y en parques con mínima exposición al tráfico. En cada ubicación se realizaron curvas de CO₂ utilizando un analizador de gases en el infrarrojo (IRGA) y se recolectaron hojas para determinar el contenido de clorofila mediante la técnica de Wellburn (1994). El muestreo se llevó a cabo durante la temporada de lluvias y la de sequía.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se establecieron tres sitios correspondientes a cada nivel de exposición a la contaminación por tráfico vehicular:

- Alta congestión vehicular (avenidas principales con alto flujo de tráfico).
- Baja congestión vehicular (avenidas secundarias con menor flujo de tráfico).
- Exposición mínima (parques urbanos).
- En cada sitio se analizaron dos especies arbóreas: *Albizia lebbbeck* y *Delonix regia*, con un total de dos a tres individuos por especie. Las variables evaluadas incluyeron:
 - Curvas de asimilación de CO₂, utilizando un Analizador Infrarrojo de Gases (IRGA).
 - Contenido de clorofila total, mediante la técnica de Wellburn (1994).

El muestreo se llevó a cabo en dos periodos: temporada de lluvias y temporada de sequía, con el objetivo de identificar variaciones estacionales en la respuesta fisiológica de las especies bajo diferentes condiciones de exposición a contaminantes vehiculares.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

El valor del punto de compensación de las curvas de asimilación de CO₂ fue analizado mediante la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis, comparando entre sitios para cada especie (*Albizia lebbbeck* y *Delonix regia*) y por temporada (lluvias y sequía). Posteriormente, se realizaron comparaciones pareadas utilizando la prueba de Dunn con corrección de Benjamini–Hochberg para controlar el error por comparaciones múltiples.

RESULTADOS

Los resultados (Figura 1) muestran que la zona norte de Mérida presenta el mayor porcentaje de áreas impermeables (70%), lo que indica un alto nivel de urbanización, mientras que la zona suroeste destaca por su mayor cobertura vegetal (44%) y suelo desnudo (16%). A partir de la revisión del tráfico y del inventario de especies, se identificaron los sitios representativos de cada nivel de exposición al tráfico vehicular. En la categoría de alta exposición se incluyen la Avenida Jacinto Canek, la Avenida Cordemex y la Avenida Tecnológico, en exposición media, la Calle 37 Pensiones, la Calle 43 Cordemex y la Avenida 15 Montecristo, en baja exposición, el Parque Animaya, el Parque La Capilla y el Parque Fraccionamiento Nuevo.

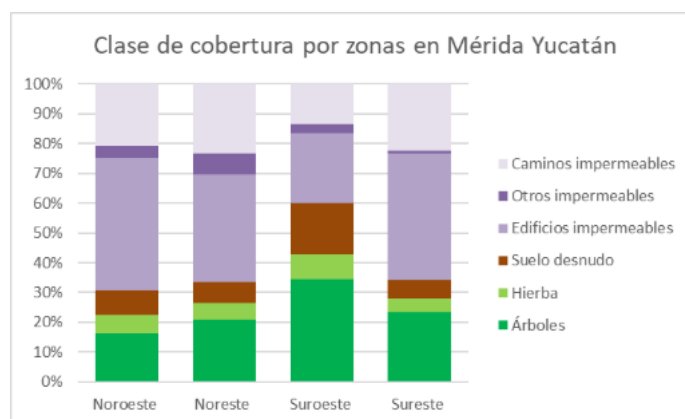


Figura 1. Porcentaje de cobertura por zonas en Mérida, Yucatán (i-Tree canopy).

La figura 2 muestra los valores del punto de compensación de CO₂ (Γ) según el nivel de exposición al tráfico (baja, media y alta) para *Albizia lebbeck* y *Delonix regia*. En ambas especies se observa una tendencia general al incremento de Γ conforme aumenta la exposición. En *Albizia lebbeck*, la mediana aumenta de ~140 ppm en baja exposición a ~170 ppm en media y desciende ligeramente a ~165 ppm en alta, sin diferencias claras entre media y alta. En *Delonix regia*, los valores ascienden progresivamente de ~120 ppm en baja a ~145 ppm en media y ~162 ppm en alta, con mayor variación en niveles más altos de contaminación vehicular.

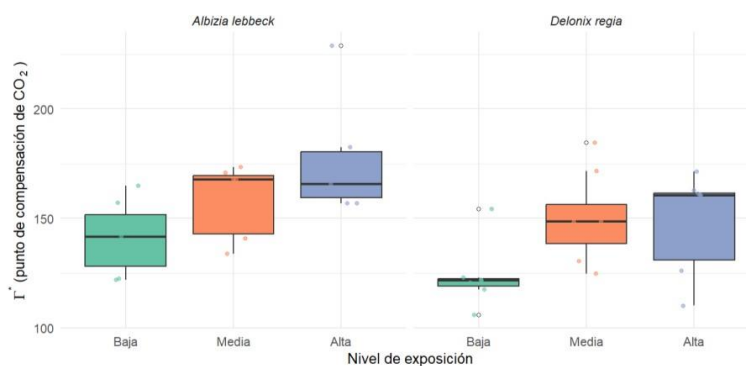


Figura 2. Punto de compensación en temporada de lluvias.

Durante la temporada de sequía (Figura 3), el punto de compensación de CO₂ (Γ) mostró un patrón muy similar al observado en la temporada de lluvias para ambas especies, lo que sugiere que las variaciones estacionales no generan cambios drásticos en esta variable. En *Albizia lebbeck*, el valor de Γ en baja exposición descendió ligeramente en sequía (de alrededor de 140 a 120 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), mientras que en exposición media se observó un incremento moderado respecto a lluvias, alcanzando aproximadamente 160 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. En alta exposición, los valores se mantuvieron

cercanos a los registrados en lluvias. En *Delonix regia*, la distribución de los valores y las medianas se mantuvieron prácticamente iguales entre temporadas, con un aumento de baja a media exposición y estabilidad en alta exposición, aunque con mayor variabilidad en esta última condición. Estos resultados sugieren que la contaminación asociada al tráfico vehicular podría tener un efecto más constante sobre el punto de compensación de CO₂ a lo largo del año, mientras que las diferencias estacionales son mínimas y se limitan principalmente a una ligera reducción en condiciones de baja exposición para *Albizia lebeck*.

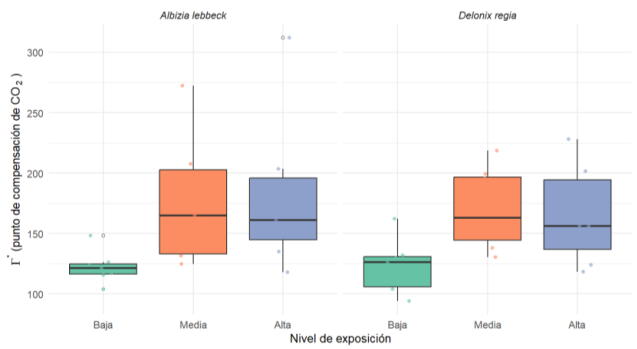


Figura 3. Punto de compensación en temporada de lluvias.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que el punto de compensación de CO₂ (Γ) tiende a aumentar con mayores niveles de exposición al tráfico vehicular, lo que sugiere un posible efecto negativo de la contaminación sobre la fisiología de *Albizia lebeck* y *Delonix regia*, siendo esta última más sensible a las variaciones entre niveles de exposición. Las diferencias entre temporadas fueron mínimas, lo que indica que el impacto del tráfico se mantiene relativamente constante a lo largo del año.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Agradecemos el apoyo por la beca financiada por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), cuya contribución hizo posible realizar este trabajo. De igual manera, agradecemos al grupo de trabajo de la Dra. Aileen O'connor y del Dr. José Luis Andrade por su orientación, discusión académica y respaldo durante el desarrollo del proyecto. Finalmente, agradecemos al técnico Gabriel Rolando Dzib por su valiosa colaboración en la identificación de especies en campo.

LITERATURA CITADA

Carrillo Niquete Gerardo Alfonso, (2022). Los servicios ambientales del arbolado urbano de Mérida y las posibles consecuencias de la urbanización acelerada. Tesis doctoral. Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Casanova Domínguez Aarón René, (2022). Balance de energía y propiedades biomecánicas en cuatro especies de árboles juveniles del arbolado en la ciudad de Mérida. Tesis maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán.

INEGI (2020). Dinámica de la población. Población total Yucatán. <https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/yuc/poblacion/dinamica.aspx?tema=me&e=31>

Ivashchenko, K. V., Korneykova, M. V., Sazonova, O. I., Vetrova, A. A., Ermakova, A. O., Konstantinov, P. y Gavrichkova, O. (2022). Phylloplane Biodiversity and Activity in the City at Different Distances from the Traffic Pollution Source. *Plants*, 11(3), 402.

DINÁMICA DE ACUMULACIÓN DE MACRONUTRIMENTOS EN TRES VARIEDADES DE *AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS* L.

José Bernardo Nieto-Flores¹, Fernando Carlos Gómez-Merino¹, Libia Iris Trejo Téllez^{1*}, José Sergio Barrales Domínguez².

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco C. P. 56264, Estado de México, México. (tlibia@colpos.mx)*

²Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco C. P. 56150, Estado de México, México.

RESUMEN

El cultivo de amaranto *Amaranthus hypochondriacus* L., originario de México, ha resurgido como un superalimento por su alto valor nutricional. Para mejorar su rendimiento, es esencial comprender cómo se acumulan los macronutrientes en sus distintos órganos. En este estudio se estableció una parcela en los campos experimentales de la Universidad Autónoma Chapingo, en condiciones de temporal. Las tres variedades probadas fueron: Areli, Diego y PQ2. Catorce días después de la emergencia (dde) de las plántulas, se tomaron muestras de tejido vegetal cada siete días durante el ciclo productivo, con un total de 17 muestreos. En las muestras colectadas se determinaron las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, S. Con los datos de concentración y pesos de biomasa seca se determinó el contenido nutrimental por planta completa. El orden de contenidos de nutrimentos fue el siguiente: K, > N > Ca > Mg > P > S. La acumulación de los principales macronutrientes para las variedades Areli, Diego y PQ2 fue: 2622, 3148, y 2915 mg de N; 3096, 3772, y 3837 mg de K; y 25596, 2228, y 2855 mg de Ca, respectivamente. Se identificaron tres etapas diferenciadas en su crecimiento: la fase vegetativa a 49 dde con baja extracción de nutrientes; el inicio de la panoja con la extracción más alta; y desde la antesis hasta la madurez con menor extracción, pero mayor removilización. Estos resultados resaltan la importancia de manejar adecuadamente la fertilización para optimizar la producción de amaranto, de acuerdo con su fenología.

DINÁMICA DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO COMPARATIVO DE TRES VARIEDADES DE *AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS* L.

José Bernardo Nieto-Flores¹, Fernando Carlos Gómez-Merino^{1*}, Libia Iris Trejo Téllez¹, José Sergio Barrales Domínguez².

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco C. P. 56264, Estado de México, México. (fernandg@colpos.mx)*

²Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco C. P. 56150, Estado de México, México.

RESUMEN

El *Amaranthus hypochondriacus* L. es un cultivo estratégico por su valor nutricional y adaptación a ambientes adversos. La acumulación de biomasa seca es un indicador clave para analizar su crecimiento, desarrollo y respuesta ecofisiológica en distintos sistemas agrícolas. El objetivo de este estudio fue determinar la dinámica de acumulación de materia seca por órgano en tres variedades de amaranto: Areli, Diego y PQ2, cultivadas en condiciones de temporal. Se estableció, una parcela con un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron las tres variedades analizadas. Catorce días después de la emergencia, se tomaron 17 muestras de planta completa cada 7 d. Posteriormente, las muestras se sometieron a un proceso de secado para determinar los pesos de la biomasa seca por órgano en cada muestreo. Los datos generados se sometieron a un análisis de varianza ($p < 0.05$) y una prueba de comparación de medias (Tukey, $p < 0.05$). Las variedades Diego y PQ2 presentaron mayor acumulación de materia seca con respecto a Areli. De manera general, las raíces representan alrededor del 11 %, los tallos varían entre el 43 % y el 60%, y las hojas constituyen aproximadamente el 32 % del total. Estos patrones reflejan estrategias ecofisiológicas diferenciadas de asignación de recursos bajo estrés hídrico. El estudio demuestra que, incluso en ambientes con disponibilidad limitada de agua, el amaranto puede mantener un desarrollo funcional y productivo, lo que refuerza su potencial como cultivo resiliente en zonas áridas y semiáridas.

DIVERSIDAD DE HONGOS ENDÓFITOS EN DOS ORQUÍDEAS EPÍFITAS NATIVAS DE LA COSTA DE OAXACA

José Luis Villarruel Ordaz^{1*}, Ana Claudia Sánchez Espinosa¹, Luis David Maldonado Bonilla², Roberto Garibay Orijel³

¹Instituto de Genética, Universidad del Mar, campus Puerto Escondido. (jvillarruel@aulavirtual.umar.mx)*

²Cátedras SECIHTI, Universidad del Mar, campus Puerto Escondido

³Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

La simbiosis entre hongos endófitos y orquídeas epífitas es crucial para la ecología funcional de estas plantas, ya que influye en su fisiología, adaptación y supervivencia. En la región Costa de Oaxaca, donde las condiciones son limitantes, estas asociaciones microbianas adquieren relevancia como estrategia adaptativa con potencial biotecnológico. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar hongos endófitos cultivables presentes en las raíces de *Encyclia mariaeugeniae* y *Lophiaris andreana*, evaluando su diversidad y función fisiológica en las orquídeas hospedantes. Se obtuvieron 46 aislados fúngicos de raíces colectadas en campo, de los cuales 37 fueron identificados mediante amplificación y secuenciación de la región ITS del ADN ribosomal, utilizando ≥ 98 % de similitud y cobertura como criterios taxonómicos. Los resultados mostraron que *E. mariaeugeniae* presentó mayor número de aislados (29) en comparación con *L. andreana* (17), lo que indica diferencias en la composición endófito. Se identificaron géneros como *Trichoderma*, *Fusarium* y *Neopestalotiopsis*, relacionados con la promoción del crecimiento vegetal, mejora de la absorción de nutrientes y tolerancia al estrés abiótico. En conclusión, los hongos endófitos representan una fuente de diversidad microbiana y un factor determinante en la fisiología adaptativa de las orquídeas epífitas, con aplicaciones ecológicas y biotecnológicas de gran interés.

MELATONINA: UN BIOESTIMULANTE EN PLÁNTULAS DE JITOMATE

David Trujillo-García^{1*}, José Luis Díaz-Nuñez¹, Ebandro Uscanga- Mortera, Carlos-Trejo¹, F. Víctor Conde-Martínez, J. Rodolfo García-Nava

¹Posgrado en Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Carr. México Texcoco, KM 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56264. (trujillo.david@colpos.mx)*

RESUMEN

La melatonina, conocida por su papel en la regulación del ritmo circadiano en humanos, también actúa como bioestimulante en plantas al mitigar el estrés y promover el crecimiento. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto bioestimulante de la melatonina en aplicaciones foliares en plántulas de jitomate cultivadas en charolas y macetas. Semillas de jitomate, variedad “Rio Grande”, fueron germinadas y trasplantadas a charolas germinadoras con vermiculita y en macetas con suelo:vermiculita (3:1). Los tratamientos consistieron en cuatro aplicaciones foliares durante 28 días de melatonina en concentraciones de 10^{-3} a 10^{-7} molar. El experimento se diseñó completamente al azar, las unidades experimentales fueron 15 plántulas por tratamiento. Se determinaron la altura, el diámetro del tallo, el área foliar, el número de raíces adventicias, la materia seca y el contenido de ácidos fenólicos en el vástago y las raíces. En las plantas cultivadas en charolas, la concentración de melatonina 10^{-4} molar mostró el mayor efecto en las variables de crecimiento. En las plantas en maceta, las concentraciones de melatonina no incrementaron las variables de crecimiento; sin embargo, la concentración de 10^{-7} molar incrementó el contenido de fenoles totales en la raíz, y las concentraciones de 10^{-4} y 10^{-6} molar incrementaron el contenido de fenoles totales del vástago. Algunas concentraciones de melatonina redujeron la materia seca de la raíz. Por lo tanto, la aplicación foliar de melatonina en concentraciones específicas, puede considerarse una alternativa para bioestimular el crecimiento y el contenido de compuestos fenólicos en la producción de plántulas de jitomate.

EFFECTO FISIOLÓGICO DEL TAMAÑO DEL CRISTAL DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN PLÁNTULAS DE CAFÉ (*COFFEA ARABICA* L.)

Ramón Ángel Medina Reyes^{1*}, Luis Alfredo Rodríguez Larramendi², Vicente Pérez Madrigal², Rady Alejandra Campos Saldaña² y Héctor Ernesto Salazar Argüello¹

¹Maestría en Ciencias Agroforestales, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ingeniería Sede Villa Corzo, Facultad de Ingeniería Sede Villa Corzo. (ramon.medinarys@e.unicach.mx)*

²Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Facultad de Ingeniería. Sede Villa Corzo. Carretera Villa Corzo - Monterrey Km 3. 30520. Villa Corzo. Chiapas.

RESUMEN

La producción de café (*Coffea arabica* L.) requiere optimizar la fase de vivero. La nanotecnología ofrece alternativas a los fertilizantes tradicionales, siendo las nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO) prometedoras por la importancia del Zn en la fisiología vegetal. Se evaluó el efecto fisiológico del tamaño del cristal de NPsZnO en el crecimiento, asignación de biomasa, contenido de clorofilas y eficiencia del Fotosistema II (PSII) en plántulas de café. Las NPsZnO se sintetizaron por el método Sol-Gel utilizando Nitrato de Zinc a diferentes temperaturas (35, 60 y 80 °C). Su estructura cristalina y tamaño se caracterizaron mediante Difracción de Rayos X, y la Ecuación de Scherrer respectivamente. Un experimento en vivero con un diseño completamente al azar evaluó cinco tratamientos en plántulas de café variedad Marsellesa: testigo absoluto, testigo relativo y tres tratamientos con fertilización edáfica más aplicación foliar semanal de las NPsZnO. Se midieron variables de crecimiento y fisiológicas a los 137 y 180 días después de la siembra (dds). Se obtuvieron NPsZnO de alta pureza en fase hexagonal, con tamaños de cristal de 36.14, 57.24 y 87.96 nm, dependientes de la temperatura. A 137 dds, las NPs de 36.14 y 87.96 nm mejoraron la eficiencia del PSII y el contenido de clorofilas. A 180 dds, las NPs de 87.96 nm promovieron el mayor crecimiento aéreo. Se concluye que el tamaño del cristal de NPsZnO es un factor crucial y que el rango de 57-88 nm es una estrategia prometedora para la agricultura de precisión en café.

ACUMULACIÓN DE LITIO Y ALTERACIONES FISIOLÓGICAS EN *SALVINIA MINIMA*: IMPLICACIONES ADAPTATIVAS ANTE CONTAMINACIÓN POR METALES EMERGENTES

Montse Burguete Gómez¹, Jorge M. Santamaría Fernández^{1*}

¹Programa de Maestría en Ciencias Biológicas (Opción Biotecnología) Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), Calle 43 #130, Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán, México, CP 97200. (jorgesm@cicy.mx)*

RESUMEN

La contaminación por litio, impulsada por su creciente demanda industrial, representa un riesgo emergente para los ecosistemas acuáticos. *Salvinia minima*, helecho acuático con comportamiento invasor y alto potencial fitorremediador, poseer adaptaciones fisiológicas que le permiten tolerar este tipo de estrés ambiental. El presente estudio evaluó los efectos del litio sobre la acumulación de este metal y el daño celular en *S. minima*. Se expusieron plantas a una solución de 10 mM de cloruro de litio durante 6 y 96 horas. Se cuantificó la acumulación de litio en hojas y raíces mediante espectrofotometría de absorción atómica, y se determinó la integridad de membranas celulares mediante fuga de electrolitos. Los resultados mostraron que las hojas acumularon mayores concentraciones de litio que las raíces, alcanzando de peso seco tras 96 h. La fuga de electrolitos aumentó progresivamente en ambos tejidos con el tiempo de exposición, siendo más severa en raíces (>80%), lo que indica un daño agudo en membranas. En contraste, las hojas mostraron un daño moderado, lo que sugiere la presencia de mecanismos de defensa o compartimentalización del metal. Estos hallazgos indican que *S. minima* puede acumular litio activamente y mantener parcialmente su funcionalidad fisiológica, lo que podría favorecer su establecimiento en ambientes impactados. Este estudio refuerza el potencial de *S. minima* como especie útil en fitorremediación y explica en parte su éxito como especie invasora en cuerpos de agua contaminados.

EFFECTO FISIOLÓGICO DE BIOCHAR EN PLANTAS DE CAFÉ (*COFFEA ARÁBICA* L.) EN CONDICIONES DE VIVERO

Héctor Ernesto Salazar Arguello^{1*}, Luis Alfredo Rodríguez Larramendi¹, José Francisco Pola Albores², Vicente Pérez Madrigal¹, Ramón Ángel Medina Reyes¹

¹Maestría en ciencias agroforestales, Universidad de ciencias y artes de Chiapas, Facultad de ingeniería sede Villa Corzo. (hector.salazarrgl@e.unicach.mx)*

²Laboratorio de Materiales y Procesos Sustentables, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Nte Pte. 1150, Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez 29039, Chiapas, México.

RESUMEN

El biochar es un material carbonoso que, al incorporarse al sustrato, puede modificar sus propiedades físicas y químicas, lo que a su vez influye en el crecimiento de las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del biochar obtenido de la cascarilla de café, en el crecimiento y desarrollo de plántulas de *Coffea arabica* L. en condiciones de vivero. El biochar se produjo a través de pirólisis lenta y se caracterizó estructural y funcionalmente por medio de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), análisis de difracción de rayos X (DRX) y análisis BET para determinar el área superficial y la porosidad. Se aplicó al sustrato (20% v/v) en combinación con distintas dosis de fertilización (100%, 75%, 50% y 0%). Se establecieron seis tratamientos, incluyendo un testigo absoluto (sin fertilizante ni biochar) y un testigo relativo (100% fertilización sin biochar), en un diseño completamente aleatorizado. Las variables evaluadas incluyeron fluorescencia de la clorofila (F0, Fm, Fv/Fm, Pi), concentración de clorofila, altura, número de hojas, área foliar, largo de la raíz, relación raíz/follaje y biomasa seca. Los hallazgos mostraron que el crecimiento aéreo aumentó con el tratamiento con biochar y 75% de fertilización en comparación con fertilización completa. Además, el tratamiento con biochar sin fertilizante mejoró el desempeño fotoquímico del fotosistema II, el biochar ayudó a mantener la funcionalidad del aparato fotosintético, lo cual sugiere una adaptación al estrés nutricional inducido debido a la capacidad del biochar para mejorar la estructura del sustrato. Estos hallazgos evidencian que el uso de biochar puede mejorar la fisiología del cafeto en vivero y permitir una reducción parcial del uso de fertilizantes.

FLUJOS DE CARBONO, AGUA Y ENERGÍA EN DIFERENTES ECOTIPOS DE MANGLAR DE YUCATÁN

José Luis Andrade^{1*}, Julio Salas-Rabaza¹, Gabriela Cerón-Aguilera¹, Roberth Us-Santamaría¹

¹Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Calle 43 # 130, Chuburná de Hidalgo, CP 97205, Mérida, Yucatán, México. (andrade@cicy.mx)*

RESUMEN

Los bosques de manglar de la península de Yucatán, aunque compuestos por pocas especies arbóreas, presentan múltiples ecotipos formados por diferencias en la micro topografía, la inundación y la salinidad. Estas condiciones resultan en características morfológicas, anatómicas y fisiológicas particulares que definen la resiliencia de los diferentes bosques y sostienen las contribuciones que proveen para la zona costera. El objetivo de estos estudios fue comparar los flujos de agua, carbono y energía en distintos ecotipos de manglar en varias temporadas del año. Los resultados indican que existen diferencias notables en los diferentes bosques que dependen de las características de las especies, del ambiente y de la temporalidad. En particular, la salinidad y la sequía son los principales factores que disminuyen los flujos de carbono y agua. Presentaremos algunos datos de emisiones de gases de efecto invernadero, transpiración y el balance de energía foliares en sitios con diferente cobertura arbórea, salinidad e inundación en al menos dos temporadas del año para documentar la influencia de la salinidad, la temperatura y la inundación en la magnitud de los flujos. También, indicaremos brevemente los beneficios socio ecológicos y climáticos de los manglares que podrían ser evaluados con estos resultados. Las acciones de conservación y restauración de los bosques de manglar deben incorporar la diversidad fisiológica y anatómica de las especies que se presentan en los diferentes ecotipos.

LA INFERENCIA BAYESIANA CÓMO HERRAMIENTA EN LA INVESTIGACIÓN DE LA FOTOSÍNTESIS

Uriel G. Pérez Guerrero^{1,2}, Antonio Capella Kort³, J. Andrés Christen⁴, Horacio A. Paz Hernández⁵, Juan Emmanuel Reyes Moreno^{1,2}, Uriel Martin Valenzuela Zavala⁴, y Aarón I. Vélez-Ramírez^{1,2 *}

¹Laboratorio de Ciencias Agrogenómicas, ENES León. Universidad Nacional Autónoma de México, León, México. (aaron.velez@comunidad.unam.mx)*

²Laboratorio Nacional PLANTECC, León, México.

³Instituto de Matemáticas. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

⁴Centro de Investigación en Matemáticas, CONACYT, Guanajuato, México.

⁵Instituto de Investigaciones en Ecología y Sostenibilidad. Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, México.

RESUMEN

Estudios indican que el rendimiento en cereales podría incrementarse hasta en un 50% si se optimiza la eficiencia en el uso de la radiación; siendo la fotosíntesis el componente fisiológico más importante que la determina. A su vez, la fotosíntesis depende de factores bioquímicos conocidos como parámetros fotosintéticos, varios de los cuales tienen buena heredabilidad y variación genética en trigo. Estimarlos es esencial para identificar líneas con mayor potencial de rendimiento. Sin embargo, la medición directa de estos parámetros requiere técnicas complejas, tardadas y destructivas, por lo que no es viable para fenotipo masivo. En cambio, usando modelos matemáticos mecanicistas como el de Farquhar, von Caemmerer y Berry (FvCB) es posible inferir parámetros a partir de mediciones in vivo. No obstante, los métodos tradicionales de inferencia tienen sesgos y limitaciones que impiden su aplicación a gran escala. El objetivo principal es desarrollar técnicas instrumentales y analíticas para tomar mediciones de fotosíntesis más rápido, manteniendo o mejorando su utilidad para la estimación de parámetros fotosintéticos. Utilizando datos de curvas dosis-respuesta a la luz y al CO₂, demostramos que es posible inferir los parámetros del modelo de FvCB mediante inferencia bayesiana implementada con métodos Monte Carlo basados en Cadenas de Márkov. Esta técnica analítica no solo permite inferir los parámetros sin sesgos analíticos, sino que abre la posibilidad de usar curvas dosis-respuesta multidimensionales, reduciendo el sesgo de muestreo también.

ASPECTOS GERMINATIVOS Y EMERGENCIA EN SEMILLAS DENTRO DE UN GRADIENTE DE ESTRÉS HÍDRICO EN *TRICHILIA HAVANENSIS* JACQ

Candelaria Garcias-Morales^{1*}, Lázaro Rafael Sánchez-Velásquez¹, Luis Alberto García Hernández²

¹Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana, Av. de las Culturas Veracruzanas 101, Col. Emiliano Zapata, Xalapa, Veracruz C.P. 91090, México. (cangarcias@uv.mx*).

²Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria Carretera San Luis - Matehuala Km. 14.5, Ejido Palma de la Cruz, Álvaro Obregón 64, Centro. CP 78000, San Luis Potosí, SLP.

RESUMEN

La germinación es la actividad enzimática, bajo condiciones favorables de humedad y temperatura, que promueve la división y elongación celular hasta que emerge el embrión a través de la cubierta de la semilla. El objetivo de este trabajo fue evaluar la germinación en semillas de *Trichillia havanensis* con diferentes grados de desecación y el potencial de emergencia de plántulas en los porcentajes de desecación. Para ello se recolectó semillas de 10 a 15 individuos, posteriormente se midió el peso fresco y seco de semillas para determinar el contenido de humedad inicial. Se realizó la reducción de humedad a 80, 60, 40, 20 y 10 % con base al contenido de humedad inicial utilizando gel sílice con la finalidad de analizar el efecto de la humedad en parámetros de germinación y emergencia de plántulas. Por último, se realizó el conteo de plántulas emergidas y rendimiento dentro de diferentes porcentajes de humedad en la semilla. Las semillas recién colectadas presentaron 89% y aquellas con 10 % de humedad un 73 % lo que sugiere que esta semilla puede desecarse sin pérdida sustancial de viabilidad. Sin embargo, la desecación en semillas sí presentó disminución en el porcentaje de emergencia de plántulas. Ya que al disminuir el porcentaje de humedad en las semillas se redujo la emergencia de 50% a 12%. Esta disminución en emergencia de plántulas se relacionó a características del rendimiento por lo cual la desecación en semillas regula la primera etapa del establecimiento en plántulas de *Trichillia havanensis*.

CUANDO XILEMA YA NO ES SEGURO: ADAPTACIONES EN LAS TILLANDSIA (BROMELIACEAE) EPÍFITAS PARA TRANSPORTAR AGUA POR LOS TRICOMAS FOLIARES

Casandra Reyes García^{1*}, Anai Pereira Zaldívar^{1,2}, Luis David Patiño López¹, Raúl Rodríguez García¹, José Luis Andrade¹, Manuel Cach Pérez³, Celene Espadas Manrique¹, Felipe Barredo Pool¹

¹Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97205 (creyes@cicy.mx)*

²Naturalis Biodiversity Center, Darwinweg 2, 2333 CR Leiden, Países Bajos. ³El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Villahermosa. Carretera Villahermosa-Reforma km 15.5, Villahermosa, Tabasco, México, C.P. 86280.

RESUMEN

Las plantas epífitas presentan una serie de adaptaciones para sobrevivir en el dosel, donde no hay contacto con el suelo y los recursos se obtienen en pulsos de precipitación. En la familia Bromeliaceae, estas adaptaciones incluyen la absorción de agua y nutrientes a través de tricomas foliares especializados, así como la presencia de metabolismo ácido de crasuláceas para contrarrestar las condiciones áridas del dosel. Algunas especies cuentan con reservorios de agua entre sus hojas (tanques) o con hojas reducidas y succulentas (atmosféricas). Se ha caracterizado, para dos especies, el transporte de agua a largas distancias por la superficie foliar, mediado por los tricomas. En el presente estudio analizamos qué tan prevalente es este transporte externo en 19 especies de Bromeliaceae epífitas con diferentes formas de vida y provenientes de ambientes contrastantes. Investigamos también rasgos de los tricomas, así como del sistema vascular. Encontramos que el transporte externo se presentaba en 10 de las 19 especies, todas ellas atmosféricas. Las atmosféricas presentaron sistemas vasculares seguros (con vasos estrechos) y pocos haces vasculares, mientras que las traqueidas aumentaban su eficiencia vascular (mayor número y más grandes traqueidas) conforme aumentaba el tamaño de su tanque. Las especies con transporte externo habitaban lugares con alto déficit de presión de vapor y estacionalidad en las lluvias. Proponemos que este transporte externo podría estar sustituyendo parcialmente el transporte vascular, el cual puede estar sujeto a embolismos frecuentes en los ambientes áridos, por lo que las especies atmosféricas optan por sistemas vasculares seguros, pero poco eficientes.

CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES TOTALES SOLUBLES EN *CARYA ILLINOENSIS* KOCH EN TRES SITIOS DE LA COMARCA LAGUNERA

Luis Manuel Valenzuela Núñez ^{1*}, Edwin Amir Briceño Contreras ², Geremías Rodríguez Bautista³, Ernesto Concilco Alberto⁴, Cristina García de la Peña¹, Jesús Vásquez Arroyo¹

¹Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Biología y Ecología Forestal, Av. Universidad SN Fracc. Filadelfia, C. P. 35010. Gómez Palacio, Dgo.

²Departamento de Ingeniería Industrial, TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Periférico Lerdo, Km 14.5. C.P. 35150. Lerdo, Durango.

³Universidad de Guadalajara CUCCSur Av Independencia Nacional 151, Centro, 48900 Autlán de Navarro, Jal.

⁴Posdoctorante, Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km. 32, Venecia C. P. 35111, Durango, México. (luisvn70@hotmail.com)*.

RESUMEN

En la actualidad la información que se tiene sobre el comportamiento de las reservas vegetativas, en especial sobre los azúcares totales solubles (ATS) y la fenología del árbol es muy limitada, por lo que es importante conocer sus concentraciones y las variantes agroecológicas que se relacionan con los árboles. El objetivo del presente estudio fue determinar la concentración de ATS de nogal pecanero en tres huertas de tres sitios de La Comarca Lagunera y en tres diferentes etapas fenológicas. Para la obtención de muestras se realizó un muestreo sistematizado en árboles de nogal de la variedad Western, se recolectaron dos muestras de raíz, tallo, rama, crecimiento anual, hoja y fruto. La determinación de azúcares totales solubles se llevó a cabo mediante la metodología de Van Handel. En Lerdo, Durango, se observó diferencia estadística altamente significativa en fruto en la etapa brotación ($\bar{x}=36.21$ mg ATS/g MS). En Nazas, Durango, hubo diferencia estadística altamente significativa en fruto en la etapa brotación ($\bar{x}=36.11$ mg ATS/g MS). En Gómez Palacio, Durango se observó diferencia estadística altamente significativa en rama ($\bar{x}=31.02$ mg ATS/g MS) y tronco ($\bar{x}=32.58$ mg ATS/g MS) en la etapa desarrollo. En letargo se presentaron las mayores concentraciones en el sitio Lerdo en raíz ($\bar{x}=36.34$ mg ATS/g MS), rama ($\bar{x}=36.14$ mg ATS/g MS), crecimiento anual ($\bar{x}=35.76$ mg ATS/g MS) y tronco ($\bar{x}=32.19$ mg ATS/g MS). La etapa letargo presentó las mayores concentraciones de ATS en todos los sitios y la raíz fue el órgano con mayores concentraciones.

¿CÓMO AFECTA EL ENTORNO URBANO A LA FISIOLÓGÍA DE ÁRBOLES EN LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN?

José Luis Andrade^{1*}, Olivia Zapata-Martínez¹, Aarón Casanova-Domínguez¹, Roberth Us-Santamaría¹

¹Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Calle 43 # 130, Chuburná de Hidalgo, CP 97205, Mérida, Yucatán, México. (andrade@cicy.mx)*.

RESUMEN

La fisiología ecológica estudia los intercambios de materia y energía de las plantas con el ambiente, y en las ciudades –por estos intercambios– puede ocurrir que ciertas especies de árboles obtengan más recursos o sufran estrés. Estudios de la fisiología de los árboles son escasos en la literatura y sobre todo estudios realizados en ciudades tropicales. En estas ciudades el reto de estudiar la fisiología de los árboles es mayor que en ciudades templadas, por la gran diversidad de especies que son usadas en el arbolado urbano. En este estudio, se presentan los resultados de la fisiología de árboles con relación a los materiales de las ciudades y a la contaminación por tráfico vehicular. Un parámetro como el balance de energía foliar nos ayuda a dilucidar como afecta el entorno de cemento y asfalto a plantas juveniles de árboles con base en su arquitectura foliar. Cómo la sombra de estos disminuye la temperatura del concreto y como el tráfico vehicular afecta la fotosíntesis aumentando el punto de compensación de CO₂. Los resultados reflejan la complejidad de las afectaciones hacia las plantas que ocurren en las ciudades, lo que hace necesario apoyarnos en otras disciplinas para poder tener resultados validados y aplicados a resolver problemas que aquejan a los habitantes de las ciudades y a la biodiversidad de las regiones tropicales.

ESTRATEGIAS ECOFISIOLÓGICAS DE *HYMENOCALLIS LITTORALIS* (JACQ.) SALISB. ANTE ESTRÉS HÍDRICO Y LUMÍNICO: EVIDENCIAS PARA SU USO EN CONSERVACIÓN COSTERA

Deanela Montufar-Canto¹, Claudia González-Salvatierra^{1,2}, Alicia Carrillo-Bastos¹, Karla García-Uitz¹,
Dariel Bárcenas-Varguez¹.

¹Instituto Tecnológico de Chetumal, Chetumal, Quintana Roo, México. ²IIXM-CONAHCYT-Instituto Tecnológico de Chetumal, Chetumal, Quintana Roo, México. (claudia.gs@chetumal.tecnm.mx).

RESUMEN

La vegetación de los ecosistemas costeros desempeña funciones ecológicas vitales para la estabilización de dunas, el mantenimiento de la biodiversidad y la protección contra la erosión costera. *Hymenocallis littoralis* tiene alta tolerancia a condiciones ambientales extremas, lo que la convierte en un componente esencial para la resiliencia de estos frágiles ecosistemas. Sin embargo, el conocimiento sobre sus mecanismos ecofisiológicos ante factores estresantes como la sequía y la alta radiación solar es limitado. El objetivo de este estudio fue evaluar las respuestas fisiológicas y bioquímicas de hojas y bulbos de *H. littoralis* bajo condiciones semicontroladas de estrés por sequía y luz. Se planteó un experimento factorial en condiciones de vivero con dos niveles de luz (sombra y expuestas) y dos niveles de agua (riego y sequía) durante un periodo de tres semanas, al finalizar se evaluaron los parámetros fisiológicos: contenido relativo de agua, liberación de electrolitos; bioquímicos: actividad antioxidante y tasa de supervivencia. Los valores máximos de luz y temperatura fueron de 1412.34 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 53°C, respectivamente. Los resultados sugieren que las hojas en sombra y sequía presentan menor contenido relativo de agua y mayor pérdida de electrolitos. En condiciones de luz incrementa la actividad antioxidante en hojas. La supervivencia fue de 100%, lo que sugiere alta tolerancia al estrés por sequía. Este trabajo destaca el potencial de *H. littoralis* como especie prioritaria para la restauración costera, particularmente en contextos de cambio climático donde la sequía y la alta irradiación son cada vez más frecuentes.

EFFECTO DE LA LUZ EN LA GERMINACIÓN DE PINUS CHIAPENSIS EN VIVERO

Susana Guillén Rodríguez^{1*}, Virginia Rebolledo Camacho¹, Brandon Rivas Cardeña¹

¹Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Veracruzana. Parque Ecológico "El Haya" Col. Benito Juárez, C.P. 91070. Xalapa, Ver. México. (suguillen@uv.mx)*.

RESUMEN

La *Pinus chiapensis* es una especie clave para el Bosque Mesófilo de Montaña, mismo que abarca menos del 1% del territorio mexicano. A pesar de su importancia ecológica, económica y social *P. chiapensis* se encuentra amenazado por la baja densidad de individuos en sus poblaciones. Aunque se ha evaluado su germinación en laboratorio y campo, en sitios abiertos y bajo la copa de los árboles aún no se tiene claridad en cuanto a sus requerimientos para germinar. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar la germinación (final, valor germinativo y velocidad de germinación) de tres sitios del estado de Veracruz (Xicotés, Epapa e Ixtatahuía) bajo tres condiciones de luz (100%, 40% y 10%). Por lo que se realizó un experimento de jardín común donde se registró la germinación cada tercer día, durante 80 días controlando la intensidad de la luz con malla sombra de diferente apertura. Un análisis de varianza de la germinación final mostró diferencias significativas entre las condiciones de luz ($F=17.121$, $P<0.001$), mientras que el test de Duncan mostró que el tratamiento de 10% de luz donde se registró el mayor porcentaje de germinación (58%). Entre sitios el análisis también mostró diferencias significativas ($F=105.728$, $P<0.001$), siendo Ixtatahuía la que registró el porcentaje de germinación más alto (75%). La tendencia fue similar para el valor germinativo y velocidad de germinación. Se concluye que la especie muestra baja germinación en condiciones de alta radiación solar, se sugiere que para la producción de planta en vivero exista un sombreado.

PERSPECTIVAS E INNOVACIÓN EN LA FISIOLÓGÍA

CAMBIOS EN LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA RADICULAR EN RESPUESTA A LA INTERACCIÓN CON BACTERIAS DE MAÍZ: PERSPECTIVAS DESDE *ARABIDOPSIS THALIANA*

José Luis Aguirre-Noyola^{1*}, Mónica Rosenblueth², Yordan J. Romero-Contreras², Esperanza Martínez-Romero²

¹Centro Nacional de Recursos Genéticos- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ²Centro de Ciencias Genómicas-Universidad Nacional Autónoma de México.

Autor de correspondencia: aguirre.jose@inifap.gob.mx; jaguirrenoyola@outlook.com

PALABRAS CLAVE: Raíz, interacción planta-microorganismo, bioinoculantes

INTRODUCCIÓN

Todas las plantas albergan una microbiota esencial para su correcto desarrollo, salud y reproducción. Estos microorganismos se encuentran en todos los tejidos vegetales, siendo particularmente relevantes aquellos asociados a las raíces. Las raíces liberan exudados compuestos por azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos, así como fitoalexinas y compuestos antimicrobianos que moldean el establecimiento de la microbiota rizosférica. En este microambiente, diversas bacterias producen fitohormonas como el ácido indolacético, capaces de modificar el desarrollo y la arquitectura radicular al aumentar la densidad de raíces y mejorar la capacidad de absorción de nutrientes (Chen *et al*, 2024). Otras bacterias contribuyen mediante la fijación biológica de nitrógeno o la solubilización de formas insolubles de fósforo (apatita e hidroxapatita), ampliando la disponibilidad de recursos esenciales para la planta. De esta manera, las bacterias de la rizósfera pueden reconfigurar la arquitectura radicular al estimular la formación de raíces laterales, la elongación de la raíz primaria y la producción de pelos radicales, lo que impacta directamente en la adquisición de agua y nutrientes, así como en la adaptación a estreses bióticos y abióticos. Recientemente se descubrió que las bacterias presentes en el mucílago de raíces aéreas de maíces nativos desempeñan un papel clave en el crecimiento de estos cultivos; sin embargo, aún se conoce poco sobre los mecanismos específicos mediante los cuales regulan la fisiología radicular, ni sobre la variabilidad de estos efectos entre diferentes cepas bacterianas o especies vegetales. En este contexto, *Arabidopsis thaliana* se ha consolidado como una especie modelo para la biología vegetal gracias a su ciclo de vida corto, genoma completamente secuenciado, facilidad de cultivo en laboratorio y amplia disponibilidad de herramientas genéticas y moleculares (Woodward *et al.*, 2018). El estudio de estas interacciones proporciona información valiosa para el diseño y optimización de bioinoculantes agrícolas para reducir la dependencia de fertilizantes químicos, contribuyendo a una agricultura más sostenible y resiliente frente al cambio climático.

OBJETIVO

Evaluar el desarrollo y fenotipo de las raíces de *Arabidopsis thaliana* en respuesta a la interacción con bacterias aisladas de mucílago de maíces nativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectó mucílago de raíces aéreas de maíces nativos, se realizaron diluciones seriadas en MgSO_4 (10 mM) y se cultivaron en medio PY a 30 °C por 72 h, seleccionando morfotipos coloniales que se subcultivaron hasta obtener cultivos puros. El ADN genómico se extrajo con el kit DNeasy Blood & Tissue (Qiagen) y se amplificó el gen 16S rRNA mediante PCR con los primers 27F/1492R; los productos se secuenciaron por plataforma Sanger y se compararon con la base de datos del NCBI usando BLASTn. En cada cepa se evaluaron actividades relacionadas con la promoción del crecimiento vegetal, incluyendo la producción de ácido indolacético en caldo con triptófano, la síntesis de sideróforos en placas con Cromo azurol, la solubilización de fosfato inorgánico en medio con fosfato tricálcico y la fijación biológica de nitrógeno en medio semisólido, cuantificada por reducción de acetileno en cromatógrafo de gases; las cepas con mejores características se seleccionaron para ensayos en plantas. Para evaluar su efecto sobre el desarrollo radicular, semillas desinfectadas de *Arabidopsis thaliana* Col-0 se sembraron en placas con medio Murashige y Skoog 0.2X (pH 5.7), se vernalizaron 2 días a 4 °C y se dejaron germinar 7 días en cámara de crecimiento a 24 °C con fotoperiodo de 16 h luz/8 h oscuridad; posteriormente, las bacterias se inocularon individualmente en el extremo opuesto de la placa y, tras 10 días, se analizaron las raíces considerando la longitud, la formación de raíces laterales y la presencia de pelos radicales.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Los ensayos con *A. thaliana* se realizaron bajo un diseño completamente al azar con diez tratamientos: nueve niveles de inoculación bacteriana (una cepa por tratamiento) y un control sin inocular. Cada tratamiento consistió en cinco réplicas independientes, donde cada réplica correspondió a una placa con diez plántulas.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Los datos de crecimiento se evaluaron mediante verificación de normalidad (Shapiro–Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene). Los tratamientos con distribución normal y varianzas homogéneas se compararon mediante ANOVA de una vía con prueba post hoc de Tukey ($\alpha = 0.05$), mientras que datos no paramétricos se analizaron con la prueba de Kruskal–Wallis con pruebas de Dunn y de Bonferroni.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se aislaron 100 morfotipos coloniales de los mucílagos de las raíces aéreas de maíces nativos. En cuanto a las actividades relacionadas con la promoción del crecimiento vegetal, la función más frecuente fue la producción de fitohormonas, presente en el 52 % de las cepas, seguida por la solubilización de fosfato inorgánico en un 26 %. La fijación biológica de nitrógeno y la producción de sideróforos presentaron menor incidencia, con un 12 % y 2 % de las cepas, respectivamente. Las

cepas con las funciones más enriquecidas fueron seleccionadas para los ensayos de inoculación en plantas. Los análisis de las secuencias de 16S rRNA indicaron que estas cepas pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Sphingomonas*, *Duganella*, *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Methylobacterium*, *Kosakonia* y *Phytobacter*, los cuales han sido descritos como no patógenos y con potencial como agentes bioinoculantes (Gómez-Godínez et al., 2023). Las distintas cepas bacterianas evaluadas mostraron efectos contrastantes sobre la arquitectura radicular de *Arabidopsis thaliana*. Las plantas del control presentaron rosetas pequeñas, con pocas hojas y un desarrollo limitado. Las plantas tratadas con *Herbaspirillum* mostraron un notable incremento en el tamaño y densidad de la roseta, con hojas más numerosas y vigorosas. Un efecto similar, e incluso ligeramente más marcado, se observó con *Methylobacterium sp.*, donde las rosetas fueron grandes, compactas y con mayor cobertura foliar.

En contraste, *Rhanella sp.* y *Pseudomonas* presentaron rosetas pequeñas y poco desarrolladas, comparables o inferiores al control. Los tratamientos con *Sphingomonas sp.* y *Azospirillum* mostraron un desarrollo intermedio, con rosetas más grandes que el control, pero menores que las observadas en *Herbaspirillum* y *Methylobacterium sp.* En general, los resultados sugieren que *Herbaspirillum* y *Methylobacterium sp.* ejercen el mayor efecto promotor sobre el crecimiento de la roseta, mientras que *Rhanella sp.* y *Pseudomonas* tienen un impacto limitado. En comparación con el control, donde prácticamente no se observaron raíces laterales, varias bacterias promovieron notablemente la formación de pelos radicales, lo que indica actividad promotora del crecimiento vegetal. Destacaron *Herbaspirillum*, *Sphingomonas sp.*, *Duganella sp.* y *Pseudomonas sp.*, las cuales indujeron entre 10 y 15 veces más raíces laterales que el testigo, además de estimular la elongación de la raíz primaria. Cepas como *Azospirillum sp.*, *Methylobacterium sp.* y *Sphingomonas* presentaron efectos intermedios, duplicando o triplicando la densidad de raíces laterales respecto al control, mientras que *Kosakonia sp.* y *Phytobacter sp.* mostraron una respuesta marginal o nula (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de las bacterias de maíces nativos en la producción de pelos radicales de *A. thaliana*

Cepa bacteriana	Efecto sobre raíces laterales	Densidad lateral
Control	Muy escasas (1–3)	< 0.3 raíces/mm
<i>Pseudomonas sp.</i>	Fuertemente aumentado (>40)	~3 raíces/mm
<i>Sphingomonas sp.</i>	Muy alta inducción (>45)	~3–3.5 raíces/mm
<i>Duganella sp.</i>	Alta (>40)	~3 raíces/mm
<i>Azospirillum sp.</i>	Moderada (15–20)	~1–1.5 raíces/mm
<i>Herbaspirillum sp.</i>	Muy alta (>50)	~3.5–4 raíces/mm
<i>Methylobacterium sp.</i>	Media (15–25)	~1.5 raíces/mm
<i>Kosakonia sp.</i>	Bajo (8–12)	<1 raíz/mm
<i>Sphingomonas sp.</i>	Alta (>35)	~2.5 raíces/mm
<i>Phytobacter sp.</i>	Nula	~0.4 raíces/mm

CONCLUSIONES

Nuestro estudio evidencia que la interacción con bacterias promotoras del crecimiento vegetal modifica de manera significativa la arquitectura radicular de *Arabidopsis thaliana*, incrementando la formación de raíces laterales, la densidad de pelos radicales y la elongación de la raíz primaria. Estos cambios reflejan un potencial de estas cepas bacterianas como bioinoculantes para optimizar la absorción de nutrientes y mejorar el desempeño de los cultivos agrícolas en México.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el financiamiento a través de la Convocatoria de Proyectos de Investigación Científica y Humanística en Ejes Estratégicos 2025 con el proyecto: PEE-2025-G-248.

LITERATURA CITADA

Chen, L., & Liu, Y. (2024). The function of root exudates in the root colonization by beneficial soil rhizobacteria. *Biology*, 13(2), 95.

Gómez-Godínez, L. J., Aguirre-Noyola, J. L., Martínez-Romero, E., Arteaga-Garibay, R. I., Ireta-Moreno, J., & Ruvalcaba-Gómez, J. M. (2023). A look at plant-growth-promoting bacteria. *Plants*, 12(8), 1668.

Woodward, A. W., & Bartel, B. (2018). Biology in bloom: a primer on the *Arabidopsis thaliana* model system. *Genetics*, 208(4), 1337-1349.

INDUCCIÓN DE FRUTOS PARTENOCÁRPICOS EN *VANILLA PLANIFOLIA* JACKS EX ANDREWS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE REGULADORES DE CRECIMIENTO: AVANCES

Bélgica Yaguache Camacho¹, Manuel Livera Muñoz¹, Oscar Ayala Garay¹, Alfredo Carrillo Salazar¹,
Manuel González Camacho¹

¹Colegio de Postgraduados

*Autor para correspondencia: yaguache.belgica@colpos.mx

PALABRAS CLAVE: Partenocarpia, polinización, reguladores de crecimiento,

INTRODUCCIÓN

Vanilla planifolia es una orquídea originaria de las regiones húmedas tropicales de México y América Central (Quintana y Aguilar, 2020). Es la especie más importante del género *Vanilla* por la presencia de vainillina de mejor calidad y mayor concentración en sus frutos (Herrera-Cabrera et al., 2016). La vainillina es un compuesto que se usa como saborizante y aromatizante natural en la industria alimenticia (Viveros, 2018); esta característica convierte a la vainilla en la segunda especie más cara a nivel mundial después del azafrán, de ahí la importancia económica del cultivo (Pimentel-Vignes, 2020). Sin embargo, la obtención de vainilla se ha convertido en un verdadero reto para el productor, prueba de ello es que la producción cubre el 6.25 a 11.5 % de la demanda internacional (Azofeifa-Bolaños, 2014). México ocupa el quinto lugar en producción y no consta en la lista de países exportadores (Quintana y Aguilar, 2020). La vainilla es una especie perenne, el crecimiento vegetativo tiene una duración dos años, al tercer año produce las primeras flores y a partir del cuarto año la producción anual se estabiliza (Pérez, 2015); para poder aprovechar y comercializar el producto, se requiere someter a las vainas al proceso de beneficiado para desarrollar los compuestos aromáticos característicos de la vainilla (Sánchez-Galindo, 2018). Sin embargo, el rendimiento del cultivo se ha visto afectado por el aborto de ovarios y la caída prematura del fruto, debido principalmente a factores como la polinización manual obligatoria y no siempre eficiente, la alteración en la sincronización entre la madurez de los óvulos y el crecimiento del tubo polínico, causando interrupción de la fertilización de la flor hasta provocar su caída (Hernández-Miranda, 2018), además de otros efectos que responden a un cambio climático gradual y acelerado, que alteran las condiciones de desarrollo de la planta. Cuando la planta es sometida a un tipo de estrés se produce un desbalance hormonal, provocando una disminución de la concentración de hormonas que favorecen la fijación del fruto (auxinas, citocininas y giberelinas), e incremento de la concentración de etileno y ácido abscísico que causan un efecto contrario (Hernández-Hernández, 2019). La obtención de frutos sin semilla se ha convertido en una alternativa prometedora de producción, pues, la aplicación exógena de reguladores de crecimiento incrementa el amarre y el crecimiento del ovario (Hernández-Ramírez, 2009), para dar lugar a la formación de vainas partenocárpicas. Se espera continuar con la investigación hasta obtener frutos de mayor tamaño y de mejor calidad; en vista que los frutos partenocárpicos presentan características organolépticas

mejoradas y en algunos casos son más resistentes a condiciones desfavorables del ambiente (Dorcey, 2007).

OBJETIVO

Evaluar el efecto de reguladores de crecimiento en la inducción de partenocarpia en ovarios de *Vanilla planifolia*, para la obtención de frutos sin semilla con calidad comparable a frutos polinizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolla en el Estado de Puebla, en la ciudad y municipio de Huehuetla; localizado a una latitud de 20° 6' 17" N, longitud 97° 37' 31" W, y una altitud de 517 m s. m. n. Huehuetla tiene un clima subtropical húmedo y una temperatura de 18 a 24° C, humedad relativa media de 76 % y un rango de precipitación de 2900 a 3600 mm (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014). El experimento tuvo lugar en un sistema de cultivo tradicional bajo malla sombra con tutores vivos, con plantas de vainilla de tres años. La aplicación de reguladores de crecimiento se realizó con un atomizador, rociando la solución (tratamientos) directamente en flores en antesis. Para evaluar el efecto de los reguladores de crecimiento se comparó el desarrollo de frutos partenocárpicos y aquellos frutos con semilla (polinizados manualmente).

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con ocho tratamientos, y dos testigos (T1: flores polinizados manualmente y T4: flores sin tratar). Una flor corresponde a una unidad experimental y cada tratamiento se aplicó a 10 flores. Los tratamientos resultan de la combinación del tipo: ácido giberélico (AG3), Thidiazuron (TDZ) y ácido indol-3- butírico (AIB).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

El análisis de datos se realizó con el programa RStudio v4.4.3 (2024). Se realizó un análisis exploratorio para conocer el comportamiento de los datos y luego se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) para comprobar las diferencias significativas y se aplicó la prueba de Tukey (0.05).

RESULTADOS

Todos los tratamientos con reguladores de crecimiento: auxina, giberelina y/o citocinina indujeron la formación de vainas sin semilla, aunque en menor longitud que los frutos polinizados (Figura 1). Estos resultados muestran una eficiencia inferior a la reportada por Gregory et al. (1964), quienes reportaron 16.69 cm de longitud de la vaina y 118 % de amarre en promedio, cuando realizaron de una a seis aplicaciones de 2,4-D. Los tratamientos T12 y T13 (incluyen los tres tipos de reguladores) aunque mostraron la mayor longitud del fruto, no alcanzaron el tamaño del testigo (T1). Por otro

lado, estos mismos tratamientos alcanzaron los porcentajes más altos de retención de frutos que superan al de frutos polinizados, demostrando la capacidad de los reguladores para bloquear la zona de absición y así sostener al fruto hasta el momento de la cosecha.

Cuadro 1. Longitud del fruto y porcentaje de amarre de frutos de *Vanilla planifolia*. Fotografías (A) fruto partenocárpico y (B) polinizado. Valores con la misma letra son estadísticamente similares (Tukey, 0.05).

Tratamiento	Longitud del fruto	Porcentaje de amarre (a los 9 meses)
T1	168.817 a	60
T12	131.098 b	90
T13	128.044 b	90
T10	110.275 c	20
T7	98.415 d	30
T9	96.625 d	30
T6	89.465 de	20
T2	84.770 ef	40
I3	77.767 f	30
T4	49.827 g	0

Valores con la misma letra son estadísticamente similares (Tukey, 0.05).

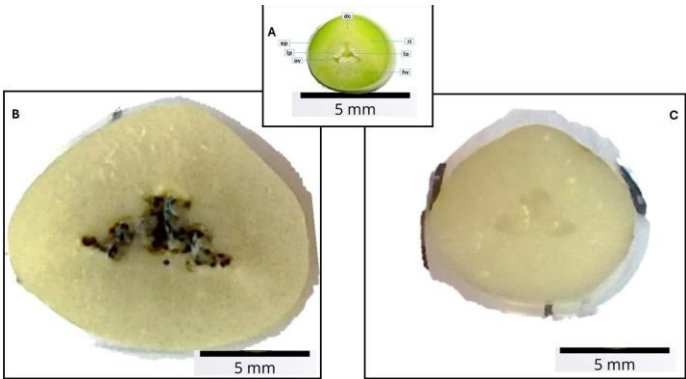


Figura 1. Corte transversal de A. ovario de flor en antesis; B. fruto polinizado y, C. fruto partenocárpico a los 9 meses de desarrollo, de *Vanilla planifolia*.

La figura 1 muestra la ausencia de semillas en las vainas, asegurando de esta manera la efectividad de las auxinas, giberelinas y citocininas en inducción de partenocarpia, que, si bien no alcanzan la longitud y ancho de un fruto polinizado. Estos resultados responden posiblemente a que los tratamientos no poseen el balance hormonal necesario para regular el crecimiento del fruto a través de la división y elongación celular. Estos resultados dan la pauta para continuar investigando hasta obtener frutos con calidad comercial.

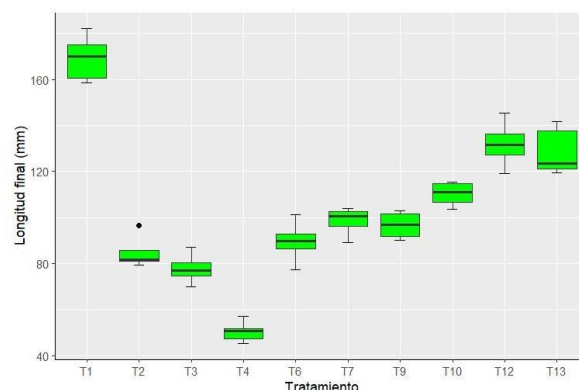


Figura 2. Longitud de frutos partenocárpicos de *Vanilla planifolia*. Testigo (T1: frutos con semilla y T4: ovarios sin tratar).

La figura 2 muestra la dispersión de datos de longitud de la vaina, que posiblemente refleja la distribución de fotoasimilados y de nutrientes a lo largo del racimo; mientras que la presencia de datos atípicos puede ser el resultado de una mayor traslocación de nutrientes hacia los frutos que lograron permanecer en el racimo. Sin embargo, aunque todos los tratamientos lograron formar frutos sin semillas, las características de tamaño (longitud, diámetro y peso) aún se encuentran por debajo del testigo

CONCLUSIONES

La aplicación exógena de reguladores de crecimiento mostró un efecto positivo en el crecimiento y amarre de la vaina, principalmente cuando interactúan las tres hormonas responsables de la fijación del fruto. Aunque hasta el momento ya se logró obtener frutos sin semilla, es importante seguir investigando en lo referente a combinación y dosis de aplicación, hasta lograr características de calidad similares o superiores a los frutos polinizados manualmente.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Expresamos nuestro sincero agradecimiento al Gobierno de México a través del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por otorgar la beca para la realización del estudio doctoral; de igual manera, al Colegio de Postgraduados por la formación académica y la guía en el desarrollo de la investigación.

LITERATURA CITADA

Gregory, LE, Gaskins, MH y Colberg, C. Desarrollo de vainas partenocárpicas de *Vanilla planifolia* Andrews inducido con sustancias químicas reguladoras del crecimiento. *Econ Bot* 21, 351–357 (1967).

-
- Hernández-Miranda, O. C.-R. Y. H.-C. B. y. S.-R. V. (2018). Expresión diferencial del gen ARF8 involucrado en el metabolismo de auxinas durante la transición de flor a fruto en *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Revista Agroproductividad*, 11(3), pp. 15-21.
- Pérez, J. (2015). Cultivo de vainilla *Vanilla planifolia* Jackson, México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Pimentel-Vignes, L. C. (2020). *Revisión sistemática de la literatura sobre la gestión de la cadena de suministro para la exportación de vainilla en el periodo 2000-2019*, Trujillo-Perú.: Universidad Privada del Norte.
- Quintana, M. & Aguilar, J. (2020). Desarrollo de los cultivos sostenibles de vainilla en Ecuador. *Revista de Investigación y Talentos*. 7(1), pp. 71-79.
- Sánchez-Galindo, M. y otros. (2018). Calidad de fruto verde y beneficiado de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) con relación a su edad y cosecha. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, diciembre, 24(3), pp. 203-213

PREINMUNIZACIÓN DE *CITRUS LATIFOLIA* TANAKA Y SU EFECTO EN EL PESO ESPECÍFICO DE LA HOJA E ÍNDICE DE VERDOR

Marisol Basilio-Mora¹, Ángel Villegas Monter ^{1*}, Víctor Arturo González Hernández¹

¹Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fisiología Vegetal. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Montecillo, C.P 56264, Texcoco, Estado de México.

*Autor para correspondencia: avillega@colpos.mx

PALABRAS CLAVE: Lima persa, protección cruzada, fisiología.

INTRODUCCIÓN

La fotosíntesis es un proceso biológico donde se captura la energía del sol mediante una serie de reacciones que transforman la energía luminosa en energía útil para la planta. Existe poca información del efecto de la tristeza de los cítricos, causada por el *Closterovirus tristeza* (CTV), en la fotosíntesis de estas especies, principalmente en plantas preinmunizadas. La preinmunización se usa para controlar daños de variantes severas del virus en hospedantes susceptibles (Muller y Rezende, 2004) y es una técnica que ha demostrado ser efectiva contra CTV (Zhou y Zhou, 2012). Los principales indicadores de la fotosíntesis incluyen la tasa total de fotosíntesis de la hoja, que se mide a través de la absorción de CO₂, peso específico de la hoja (PEH), cantidad total de proteína soluble y contenido de clorofila. Una manera de calcular la fotosíntesis de forma indirecta es a través de la producción de materia seca por unidad de área foliar que es, el peso específico de la hoja (Secor et al., 1982); este método ha sido empleado por diversos autores como González-Pérez et al. (2018). También se han desarrollado dispositivos ópticos portátiles y no invasivos basados en principios de transmisión o reflexión de luz de una hoja para estimar el verdor y la clorofila (Syvertsen, 1987).

OBJETIVO

Determinar el efecto de la preinmunización en el peso específico de la hoja e índice de verdor de plantas de *C. latifolia* Tanaka, injertadas en *Citrus volkameriana* y Citrange C- 35 (*C. sinensis* x *Poncirus trifoliata*); así como su relación con la aplicación de bioestimulantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio. El trabajo se llevó a cabo en el ejido Migueles, Cazonas de Herrera, Veracruz, México. Material vegetal: Se utilizaron plantas de lima persa preinmunizadas de 2 años, injertadas en *C. volkameriana* y Citrange C-35.

Bioestimulantes: el 22 de marzo de 2024 se hizo la primera aplicación al suelo de los bioestimulantes: tierra de diatomeas (DIATOMITA®) [Silicio (SiO₂) 70 % y Aluminio (Al₂O₃) 4 %], se aplicó espolvoreado en zona de raíces (3 kg ha⁻¹); formador de micorrizas arbusculares (HMA) *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* (MycoUp Active®), 120 propágulos por gramo de sustrato, se asperjo en zona de

raíces (3 kg ha⁻¹) y *Trichoderma erinaceum* cepa experimental 15F13 (6 kg ha⁻¹). El 24 de mayo de 2024 se hizo la segunda aplicación con la variación en dosis de *Trichoderma erinaceum* (3 kg ha⁻¹).

Variables respuesta

Peso específico: De cada árbol, por la parte media de la copa, en brotes maduros y expuestos al sol, se cortaron cuatro hojas (una por cada punto cardinal) previo y después de lluvia (19 de junio de 2024 y 28 de julio de 2024, respectivamente), se mantuvieron en frío y llevaron al Laboratorio de Biotecnología y Fisiología Vegetal, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Para determinar el área foliar, se escanearon cuatro hojas por unidad experimental en impresora (MFP HP® Laser Jet Managed serie E62655) con superficie conocida (5 cm²) y se cuantificó con el programa computacional ImageJ 1.53t. Una vez escaneadas, para obtener peso de materia seca, las hojas se colocaron en estufa de secado marca TECSA®, Modelo HDT-17 a 70 °C durante 120 h, después se pesaron en balanza analítica digital (Sartorius Entris224-1s). Con los datos obtenidos se determinó el peso específico de la hoja (PEH) de acuerdo con la siguiente fórmula: $PEH = \text{Peso de la materia seca de hoja} / \text{área foliar}$

Índice de verdor en unidades SPAD (IV): Se determinó con un clorofilómetro portátil (Minolta Chlorophyll Meter SPAD-502®). Se tomaron tres lecturas por unidad experimental en diferentes hojas maduras de la parte superior de la copa del árbol. La medición se realizó antes de lluvia (19 de junio de 2024) y después de lluvia (26 de julio de 2024).

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial con tres factores. El primer factor (preinmunización) con dos niveles [plantas preinmunizadas (Preinm) con CTV (T30+T3) y no preinmunizadas (No Preinm) el segundo factor (portainjerto) con dos niveles [*C. volkameriano* (Volka) y Citrange-35 (C-35)] y el tercer factor (bioestimulante) con cuatro niveles [(sin bioestimulante (SB), DIATOMITA® (D), MycoUp Active® (M) y *Trichoderma erinaceum* cepa experimental 15F13 (T)] resultando 16 tratamientos con cinco repeticiones cada uno. Se consideró un árbol como unidad experimental.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

A las variables respuesta se les realizó análisis de varianza y cuando se presentaron diferencias significativas se realizó comparación de medias con la prueba de Tukey (ambas con $p \leq 0.05$). Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico Rstudio 4.2.2.

RESULTADOS

Peso específico de la hoja: Los factores preinmunización y portainjerto, afectaron significativamente el peso específico de la hoja (11.98 y 11.40 mg cm⁻²) cuando se evaluó previo a la temporada de lluvia

(Figura 1), podría ser que las características de las hojas son sensibles a condiciones ambientales cambiantes, a relaciones de repartición de biomasa, si disminuye la disponibilidad de agua en el suelo se reduce la tasa fotosintética. Relacionado al portainjerto, los resultados coinciden (11.40 mg cm⁻²) para lima persa en *C. volkameriana* con los de Berdeja-Arbeu et al. (2010), quienes obtuvieron mayor peso específico en lima persa en el mismo portainjerto (11 mg cm⁻²). El factor bioestimulación no afectó esta variable. Se encontró que PEH previo a la temporada de lluvias es significativamente menor (10.97 mg cm⁻²) que al evaluar después de lluvia (42.04 mg cm⁻²).

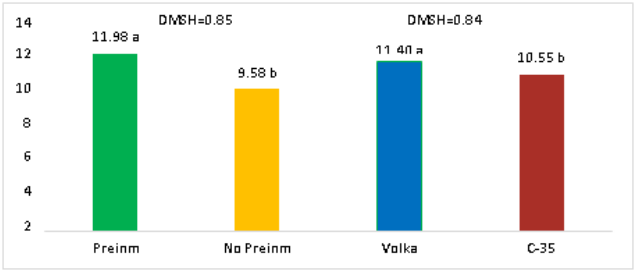


Figura 1. Comparación de medias entre plantas preinmunizadas y no preinmunizadas, así como entre dos portainjertos en lima persa. Ejido los Migueles, Cazonos, Ver. DMSH = Diferencia mínima significativa Honesta. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Índice de verdor: esta variable no fue afectada por el factor preinmunización pero, si por el portainjerto cuando se evaluó previo a lluvia. El índice de verdor de lima persa en *C. volkameriana* es significativamente menor que en C-35 (43.21 y 47.84 respectivamente) (Figura 2). Jifon et al. (2005) indican que el intervalo de concentración de clorofila es diferente entre cultivares, edad de las hojas, manejo agronómico y ambiente de crecimiento; González-Hernández et al. (2020) indican que, en naranja, es afectada por el portainjerto y coincide con los resultados obtenidos en lima persa. Para el factor bioestimulante, DIATOMITA® después de lluvia es significativamente mayor (54.83) que el testigo, los otros bioestimulantes aun cuando iguales a DIATOMITA, también lo fueron con el testigo. Lo que coincide con Valizadehkaji y Mohammad (2025) que afirman cuando se aplicó silicato potásico (SiO₂ 27 % y K₂O 13 %) foliar al 0.3 % al mandarina ‘Page’ aumento su contenido de clorofila.

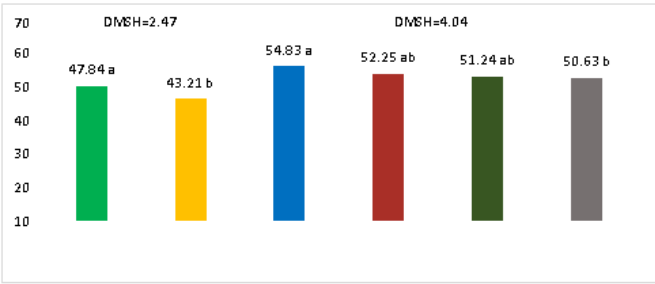


Figura 2. Comparación de medias entre dos portainjertos en lima persa y entre bioestimulantes. Ejido los Migueles, Cazonos, Ver. DMSH = Diferencia mínima significativa Honesta. IVPL= Índice de verdor previo a lluvia. IVDL= Índice de verdor después de lluvia. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

CONCLUSIONES

La preimmunización es una opción viable para la producción de lima persa, debido a que no afecta negativamente el PEH e índice de verdor. DIATOMITA® puede ser utilizada como bioestimulante y es una buena opción para producir lima persa preinmunizada en campo, ya que incrementó el índice de verdor.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Expresamos nuestros agradecimientos al vivero Cazonas, así como al Colegio de Postgraduados por permitirnos hacer uso de sus instalaciones y brindarnos las facilidades necesarias para la realización del experimento, así como a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por hacer posible la realización y presentación de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- M. T. (2010). Interacción lima persa-portainjertos: Efecto en características estomáticas de hoja y vigor de árboles. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(2), 91-97.
- González-Pérez, J. S., Becerril-Román, A. E., Quevedo-Nolasco, A., Velasco-Cruz, C., and Jaén-Contreras, D. (2018). Peso específico de hoja y concentración de nitrógeno durante la fenología del ciruelo japonés cv. Methley. *Agro Productividad*, 11(10), 43-50. DOI:10.22004/ag.econ.353019
- Jifon, J. L., Syvertsen, J. P., and Whaley, E. (2005). Growth environment and leaf anatomy affect nondestructive estimates of chlorophyll and nitrogen in Citrus sp. leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(2), 152-158. DOI:10.21273/JASHS.130.2.152
- Muller, G. W. and Rezende, J.M. (2004). Preimmunization: Applications and Perspectives in Virus Disease control. In AH Naqvi S. (Ed.). *Diseases of Fruits and Vegetables 1*: 361–395. Brazil: Springer, Dordrecht. DOI:https://doi.org/10.1007/1-4020-2606-4_9.
- Secor, J. A. C. O. B., McCarty, D. R., Shibles, R. I. C. H. A. R. D., and Green, D. E. (1982). Variability and Selection for Leaf Photosynthesis in Advanced Generations of Soybeans 1. *Crop Science*, 22(2): 255-259. DOI: 10.2135/cropsci1982.0011183X002200020013x
- Syvertsen, J. P. (1987). Nitrogen content and CO₂ assimilation characteristics of Citrus leaves. *HortScience*, 22(2), 289-291.
- Valizadehkaji, B and Mohammaei, M. (2025). Foliar Application of Biostimulants and Potassium Silicate Enhances Yield and Fruit Quality of Mandarin Cv. 'Page'. *Applied Fruit Science*. 67(1):8. DOI: 10.1007/s10341-024-01242-1

Zhou, C and Zhou, Y. (2012). Strategies for Viral Cross Protection in Plants. En M Watson y MB Wang. Antiviral Resistance in Plants: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology (pp. 69-81). Canberra, Australia.: Humana Press.

ACEITES ESENCIALES Y NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANO PARA EL CONTROL DE *FUSARIUM OXYSPORUM*

Guadalupe Tejeria-Peralta¹*, Alejandrina Robledo-Paz¹, Nicacio Cruz-Huerta¹, Victoria Ayala-Escobar¹, Caliope Mendarte-Alquisira¹

¹Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México.

Autor para correspondencia: tejeria.guadalupe@colpos.mx

PALABRAS CLAVE: Aceites esenciales, nanopartículas, *Fusarium oxysporum*

INTRODUCCIÓN

Agave tequilana es la principal materia prima destinada para la elaboración de tequila, una bebida emblemática de México; sin embargo, este cultivo enfrenta diversos problemas fitosanitarios, entre los cuales destaca la marchitez vascular, enfermedad ocasionada por el hongo *Fusarium oxysporum*. El fitopatógeno ocasiona clorosis y enrollamiento en las puntas de las hojas debido al taponamiento de los haces vasculares, pudrición en la corona y raíces (López-Bautista et al., 2020). Tradicionalmente se emplean agroquímicos para el control de la marchitez; no obstante, estos productos han generado problemas al ambiente y a la salud. Los aceites esenciales provenientes de plantas aromáticas y medicinales representan una alta importancia no solo por su uso en alimentos, medicamentos y fragancias, sino también por presentar propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Diversos estudios han demostrado que estas sustancias tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de diferentes hongos fitopatógenos; sin embargo, estos aceites presentan compuestos volátiles que pueden descomponerse cuando están en presencia de la luz, altas temperaturas, etc. La encapsulación de aceites esenciales en quitosano los protege de la degradación, lo que puede prolongar su vida útil y controlar su liberación (Hadidi et al., 2020).

OBJETIVO

Evaluar la actividad antifúngica de diferentes aceites esenciales sobre *Fusarium oxysporum*, así como obtener nanopartículas de quitosano cargadas con estos aceites esenciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La actividad fungicida de los aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*), tomillo (*Thymus vulgaris*), canela (*Cinnamomum verum*), clavo (*Syzygium aromaticum*), laurel (*Laurus nobilis*) y del extracto de ajo (*Allium sativum*) se evaluó sobre el crecimiento *in vitro* de *F. oxysporum* aislado de plantas enfermas de *A. tequilana* Weber var. Azul. El método utilizado fue el de inhibición de disco en agar. Se utilizaron tres concentraciones de cada aceite y del extracto (10, 50 y 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$), y la combinación entre los aceites de tomillo, clavo y orégano a 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$. El efecto de los aceites y el extracto sobre el crecimiento del hongo (halo de inhibición) se comparó con el de un fungicida

(Carbendazim), diclorometano y agua. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con cuatro repeticiones, siendo una caja Petri la unidad experimental. Los aceites que inhibieron el crecimiento micelial del hongo de manera más efectiva se utilizaron para elaborar nanopartículas de quitosano, por nanoprecipitación mediante el método propuesto por Sotelo- Boyas (2015), el cual consistió en disolver quitosano (0.05%) en ácido acético (2% v/v) y Tween 80 (pH 5.6). Posteriormente, los aceites esenciales diluidos en etanol (96%) al 5 y 10 %, se mezclaron con la solución de quitosano, con ayuda de una mini bomba peristáltica Finalmente, por medio de un rotavapor a 40 °C la solución se concentró.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra que los aceites esenciales de tomillo, orégano y clavo a una concentración de 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$ de manera individual y combinada, inhibieron significativamente el crecimiento micelial de *F. oxysporum* durante los primeros siete días de evaluación; en tanto que los demás tratamientos no lograron inhibir el crecimiento del hongo.

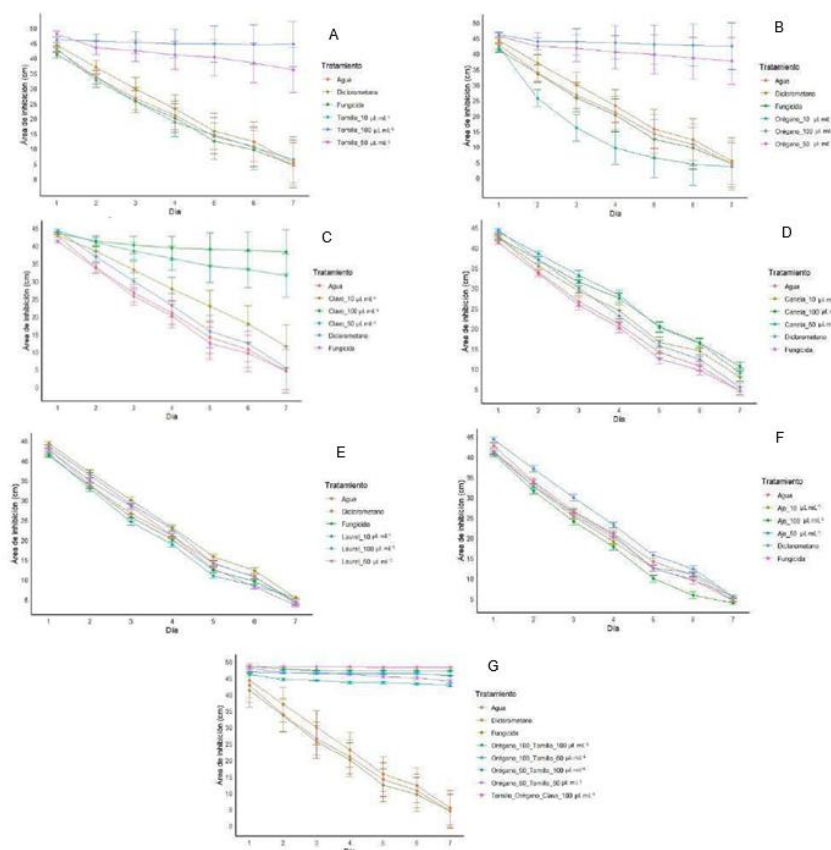


Figura 1. Efecto de aceites esenciales sobre el control de *Fusarium oxysporum*. Cada valor es la media de cuatro repeticiones $\pm$ ES. (Tukey, 0.05). A) tomillo, B) orégano, C) clavo, D) canela, E) laurel, F) ajo y G) combinación de tomillo, orégano y clavo.

Resultados similares fueron observados por Carrera y Salazar (2018) cuando analizaron la actividad antifúngica de los aceites esenciales de tomillo y orégano en dos concentraciones (500 y 1000 ppm) sobre *Fusarium* spp. aislado del cultivo de arroz, los datos que obtuvieron determinaron una inhibición micelial por encima del 90 % a una concentración de 1000 ppm. Por otro lado, el protocolo probado para la encapsulación de los aceites esenciales, permitió la formación de nanopartículas con forma y distribución homogénea, lo cual fue confirmado mediante microscopia electrónica de transmisión.

CONCLUSIONES

Los aceites esenciales de tomillo, orégano y clavo a una concentración de 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$ de manera independiente y combinada, disminuyeron significativamente el crecimiento micelial de *F. oxysporum*. Lo anterior permite considerar a los aceites esenciales como una alternativa sostenible para reducir los daños causados por hongos fitopatógenos de cultivos de importancia económica como *A. tequilana* Weber var. Azul, así como incrementar su eficiencia mediante el uso de nanopartículas cargadas con aceites esenciales.

AGRADECIMIENTOS Y FUENTE FINANCIERA

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por la beca de Maestría otorgada a Guadalupe Tejeria Peralta, así como al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo por las facilidades para llevar el presente trabajo de investigación

LITERATURA CITADA

- Carrera, M. A. C., y Salazar, H. T. C. (2018). Análisis in vitro de la actividad biológica de aceites esenciales de orégano y tomillo en hongos fitopatógenos del arroz (*Oryza sativa* L.). Ciencia e Ingeniería: Revista de Investigación Interdisciplinar en Biodiversidad y Desarrollo Sostenible, Ciencia, Tecnología E Innovación y Procesos Productivos Industriales, 5 (1), 2-10.
- Hadidi, M., Pouramin, S., Adinepour, F., Haghani, S., and Jafari, S. M. (2020). Chitosan nanoparticles loaded with clove essential oil: Characterization, antioxidant and antibacterial activities. Carbohydrate Polymers, 236, 116075. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116075>
- López-Bautista, V., Mora-Aguilera, G., Gutiérrez-Espinosa, M. A., Mendoza-Ramos, C., Martínez-Bustamante, V. I., Coria-Contreras, J. J y Santana-Peñaloza, B. (2020). Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium* spp. asociados a la ocurrencia regional de marchitez y pudrición seca del cogollo en Agave tequilana. Revista Mexicana de Fitopatología, 38 (1), 79-106. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1911-4>
- Sotelo-Boyás, M. E., Valverde-Aguilar, G., Plascencia-Jatomea, M., Correa-Pacheco, Z. N., Jiménez-Aparicio, A., Solorza-Feria, J., and Bautista-Baños, S. (2015). Characterization of chitosan

nanoparticles added with essential oils: In vitro effect on *Pectobacterium carotovorum*.
Revista Mexicana de Ingeniería Química, 14 (3), 589-599.

SISTEMA DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ULTRA BAJA EN ÁRBOLES: ENERGÍA Y SALUD ARBÓREA

Edith Osorio de la Rosa¹, Rabi Soto Camacho², Adrián Isaí Canché Moo², Mirna Valdez- Hernandez^{2*}

¹Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, Quintana Roo, México.

²El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal. (mavaldez@ecosur.mx)*

RESUMEN

El monitoreo de señales bioeléctricas en plantas ofrece un enfoque innovador para evaluar la fisiología y la salud de los árboles en tiempo real. La detección precisa de señales de ultra baja energía puede ser clave como indicadores tempranos de estrés en los procesos fisiológicos vitales. No obstante, su detección en condiciones de campo presenta desafíos debido a la baja amplitud de las señales (mV, nA) y a la variabilidad de los entornos naturales.

En este trabajo se presentan los avances en el desarrollo de un sistema para la medición de ultra baja energía, diseñado para registrar voltajes de hasta 4 mV y corrientes de 1 nA con una resolución de 18 bits y una velocidad de muestreo de 1 kHz. El dispositivo integra un amplificador de instrumentación de bajo ruido (AD8220), un ADC de alta precisión (LTC2326-18) y un microcontrolador ESP32-WROOM-32UE para la transmisión inalámbrica y visualización en tiempo real en entorno Python. Además, incorpora un módulo ambiental multiparámetro.

Actualmente, se realizan las primeras pruebas de campo en diferentes especies arbóreas para validar la capacidad del sistema bajo condiciones de campo extremas. Aunque el prototipo muestra un gran potencial como herramienta no destructiva y de bajo costo, su diseño sigue en fase de optimización para mejorar la robustez y fiabilidad en aplicaciones prolongadas. Este sistema en desarrollo podría abrir nuevas posibilidades para el monitoreo fisiológico vegetal, la gestión forestal y la conservación, aportando al estudio de la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático.

VISIÓN Y SENSORES EN EL CAMPO: MONITOREO AUTOMATIZADO DE FENOLOGÍA-POLINIZADORES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Liliana Morales Pacheco¹, Rosa M. Woo García¹, Edith Osorio de la Rosa², Adrián Isaí Canché Moo³,
Mirna Valdez- Hernández^{3*}

¹Universidad Veracruzana, de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Boca del Río, Veracruz, México.

²Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, Quintana Roo, México.

³El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, Chetumal, Quintana Roo, México. (mavaldez@ecosur.mx)*.

RESUMEN

El monitoreo fenológico y de polinizadores es clave para comprender las respuestas de las comunidades vegetales y sus interacciones bióticas frente al cambio climático, ya que permite identificar alteraciones en la sincronía entre la floración y la actividad de los visitantes florales. Este estudio presenta el diseño e implementación de un sistema automatizado, basado en una plataforma Raspberry Pi 4, que combina la captura de imágenes de alta resolución con la adquisición de variables ambientales en condiciones de campo. El sistema integra dos cámaras de alta resolución para registrar estructuras florales y actividad de insectos, sensor BME688 que mide temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y concentraciones de gases y un sistema de posicionamiento global. La programación es adaptable, permitiendo capturas fotográficas para documentar etapas fenológicas y videos para registrar actividad de polinizadores y herbívoros. La detección de visitantes florales se realiza mediante un modelo de visión por computadora ejecutado localmente, optimizado para análisis en tiempo real. Toda la información se almacena en una tarjeta SD, garantizando operación continua en sitios remotos sin conectividad. La automatización incrementa la frecuencia, precisión y continuidad del monitoreo, generando series de datos de alta resolución que mejoran la capacidad de evaluar y modelar los impactos climáticos sobre las interacciones planta-polinizador. Este sistema constituye una herramienta robusta y versátil para el seguimiento sistemático de procesos fenológicos e interacciones bióticas, contribuyendo al fortalecimiento de estrategias de conservación y a la comprensión de las dinámicas ecológicas bajo escenarios de cambio climático.

MODULACIÓN DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA FOTOSINTÉTICA EN PLANTAS DE FRESA POR APLICACIONES DE ÁCIDO ÚSNICO

Laura Castro-Rosalez¹, Antonio Juárez-Maldonado^{2,3}, Adalberto Benavides-Mendoza⁴, Fabián Pérez-Labrada^{2*}

¹Programa de Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Calzada Antonio Narro #1923 Col. Buenavista C.P. 25300, Coahuila, México.

²Departamento de Botánica, UAAAN. ³Laboratorio Nacional Conahcyt de Ecofisiología Vegetal y Seguridad Alimentaria, UAAAN. ⁴Departamento de Horticultura, UAAAN. (fabian.perezl@uaaan.edu.mx)*.

RESUMEN

La actividad fotosintética es fundamental en la productividad vegetal, este proceso involucra reacciones bioquímicas mediadas por enzimas como β -anhidrasa carbónica (β AC), ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (RuBisCO), fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC), entre otras. En este contexto surge el interés de evaluar metabolitos con potencial bioestimulante de la fotosíntesis. El ácido úsnico (AU), metabolito secundario de los líquenes, induce cambios en la fisiología de las plantas. El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto del AU (400 μ g/mL vía foliar, drench y foliar $\times$ drench) en plantas de fresa var. Albión a dosis de 15 mL/planta. Se cuantificaron clorofilas (a, b, total y relación), carotenoides, pigmentos amarillos, actividad β AC, RuBisCO, PEPC así como peróxido de hidrogeno (H₂O₂) y malonaldehído (MDA). Los datos se sometieron a ANOVA o prueba Kruskal-Wallis según normalidad y prueba de medias LSD-Fisher (InfoStat v19). El contenido de pigmentos fotosintéticos no mostró cambios significativos ($p > 0.05$) en las plantas con AU; pero la relación clorofila a/b se redujo 11% al aplicar AU vía foliar. β AC incrementó 131% al aplicar AU vía foliar $\times$ drench ($p < 0.05$) mientras que RuBisCO (25.57 μ M de CO₂ fijado mg⁻¹ min⁻¹) y PEPC (25.66 μ M de CO₂ fijado mg⁻¹ min⁻¹) no evidenciaron alteraciones significativas en plantas con AU vía drench y foliar, respectivamente. Los valores de H₂O₂ y MDA no evidenciaron estrés oxidativo. Estos resultados sugieren que el AU promueve cambios en el transporte de carbono sin comprometer la actividad fotosintética ni generar toxicidad, por lo que representa una herramienta innovadora en la bioestimulación fisiológica de fresa.

INFLUENCE OF POTASSIUM NUTRITION ON THE PHOTOSYNTHETIC PERFORMANCE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF CACAO CLONE CCN51 (*THEOBROMA CACAO* L.) CLONES: EVIDENCE FROM CONTROLLED ENVIRONMENT TRIALS

José Julián Apraez Muñoz^{1*}; Álvaro Javier Ceballos Freire²; William Ballesteros Possu³; Jesús Giovanny Solarte⁴; Diego Javier Pérez Ortega⁵; Viviana Estefanía Ponce Benavides⁶

¹PhD in Genetics and Molecular Biology. Professor, University of Nariño. Pasto, Colombia*.

²PhD in Agricultural Sciences. Professor, University of Nariño. Pasto, Colombia.

³PhD in Natural Resources Science. Professor, University of Nariño. Pasto, Colombia.

⁴MSc in Environmental Engineering. Professor, University of Nariño. Pasto, Colombia.

⁵PhD in Environmental Engineering UNESP. Professor, University of Nariño. Pasto, Colombia

⁶Undergraduate Student in Agroforestry Engineering. University of Nariño. Pasto, Colombia.

* Corresponding Autor: apraez.julian@udenar.edu.co; Apraez.julian@gmail.com

RESUMEN

Cacao (*Theobroma cacao*) cultivation is a strategic activity for rural development in Nariño, Colombia, offering sustainable livelihood opportunities in regions affected by social conflict and agroecological constraints. However, climate change and soil nutrient depletion increasingly challenge crop productivity and bean quality. This study aimed to evaluate the physiological and biochemical responses of the CCN51 cacao clone under controlled environmental conditions and different potassium (K) fertilization levels, to better understand adaptive mechanisms relevant to crop management in vulnerable systems. The trial was conducted in a greenhouse over six months, applying potassium at concentrations of 100, 200 and 400 mg kg⁻¹. Photosynthetic performance was monitored using the Multispec 2.0 device, and biochemical responses were assessed through the activity of antioxidant enzymes, including glutathione peroxidase and ascorbate peroxidase. Results indicated that higher potassium dose enhanced biomass accumulation (400 mg kg⁻¹) and maintained photosynthetic efficiency, while intermediate dose (200 mg kg⁻¹) activated compensatory mechanisms that supported plant development. Furthermore, potassium application positively regulated antioxidant enzymatic activity, suggesting its essential role in physiological stability and redox balance. These findings provide valuable insights for improving cacao productivity and resilience through targeted fertilization strategies adapted to the specific agroecological conditions of regions such as Nariño.

SUPLEMENTACIÓN CON NANOPARTÍCULAS DE Fe_3O_4 Y ZnO EN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA FOTOSINTÉTICA DE PLANTAS DE LECHUGA

Steffanny Sánchez-Portillo¹, Adalberto Benavides-Mendoza², Antonio Juárez-Maldonado^{3,4}, Fabián Pérez-Labrada^{3*}

¹Programa de Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

²Departamento de Horticultura, UAAAN.

³Departamento de Botánica, UAAAN.⁴Laboratorio Nacional Conahcyt de Ecofisiología Vegetal y Seguridad Alimentaria, UAAAN. (fabian.perezl@uaaan.edu.mx)*

RESUMEN

El hierro (Fe) y el zinc (Zn) son vitales en el proceso fotosintético de las plantas. La suplementación con nanopartículas (NPs) de estos iones supone una alternativa potencial de fertilización, sin embargo, existe escasa información de sus impactos en la actividad enzimática ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa/oxigenasa (RuBisCO) y β -anhidrasa carbónica (β AC). El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto de la aplicación de NPs- Fe_3O_4 y NPs- ZnO sobre la actividad RuBisCO y β AC de plantas de lechuga (Patrona Rz) desarrollada en invernadero. Los tratamientos consistieron en NPs- Fe_3O_4 (100 y 500 ppm), NPs- ZnO (50 y 250 ppm) suministrados vía drench y foliar, 111.7 ppm $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 3.3 ppm $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y un control sin suplementación; las aplicaciones se realizaron a los 7, 22 y 37 días después del transplante. Se utilizó diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento (réplica = tres plantas). El contenido de H_2O_2 , la actividad RuBisCO y β AC, los pigmentos fotosintéticos (clorofila a, b y total) fueron determinados en tejido foliar. El ANOVA y la prueba de medias ($p < 0,05$) reveló que la actividad RuBisCO incrementó 22% al aplicar 250 ppm de NPs- ZnO , respecto al control. No se documentaron diferencias significativas en la actividad β AC. Las NPs- ZnO vía foliar indujeron menor acumulación (18%) de H_2O_2 mientras que NPs- Fe_3O_4 no impactaron significativamente. El contenido de pigmentos fotosintéticos fue promovido por la aplicación vía drench de 100 ppm de NPs- Fe_3O_4 . Las concentraciones evaluadas de NPs- Fe_3O_4 y NPs- ZnO promueven la actividad RuBisCO y pigmentos fotosintéticos en plantas de lechuga sin inducir toxicidad.

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN Y PÉRDIDA DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS DE *ASCLEPIAS GLAUDESCENS* KUNTH (APOCYNACEAE)

Carlos Alberto Ruiz Jiménez^{1*}, Fabiola Dafne Saavedra Millán²

¹Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

²Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle – Escuela Cristóbal Colón. Avenida Miguel Bernard # 52, Col. Siete Maravillas. C.P. 07320 Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México.

Autor de correspondencia: carlos.ruizj@viep.com.mx

Asclepias glaucescens es una herbácea perenne conocida como algodoncillo, es considerada como una maleza, sin embargo, ecológicamente es muy importante porque presenta una relación mutualista con la mariposa monarca, en donde la mariposa poliniza sus flores y las orugas se alimentan de sus hojas. El objetivo fue evaluar germinación y la pérdida de la viabilidad en semillas del algodoncillo. Los frutos se colectaron en agosto de 2023 y en junio de 2025 en el campus de Ciudad Universitaria de la BUAP. El diseño experimental fue completamente aleatorio, los ensayos de germinación se realizaron en julio de 2024 (J24) y julio de 2025 (J25), los tratamientos pre-germinativos consistieron en la imbibición en agua destilada en dos tiempos (12 [I12] y 24 [I24] horas). Se establecieron tres réplicas de 30 semillas en cajas Petri para cada tratamiento. Los resultados de la germinación se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos gráficos y analíticos. La ANOVA ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación de ambas fechas no presentan diferencias significativas entre los tratamientos, para J25 los porcentajes de germinación fueron altos (81.11-Control y 84.44%-I12) y muy altos (91.11%-I24) y para J24 medios (56.67-I12 y 63.33%-Control) y bajos (53.33%-I24). La prueba de Tukey identificó que I24 para ambas fechas como los tratamientos con medias significativamente diferentes. La pérdida de viabilidad en semillas almacenadas a temperatura ambiente presento un decremento promedio de 27.78%. Concluimos que el tratamiento I24 incrementa 10% la germinación del algodoncillo y su almacenamiento a temperatura ambiente durante un año decrece significativamente.

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE AGASTACHE MEXICANA (KUNTH) LINT & EPLING (LAMIACEAE)

Fabiola Dafne Saavedra Millán^{1*}, Carlos Alberto Ruiz Jiménez², Luis Fernando Morales López³

¹Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle – Escuela Cristóbal Colón. Avenida Miguel Bernard # 52, Col. Siete Maravillas. C.P. 07320 Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México.

²Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

³Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

Autor de correspondencia: dafnesaavedra@ecc.edu.mx

El toronjil morado (*Agastache mexicana*), es una especie herbácea endémica de México, presente en bosques tropicales y templados; tiene uso ornamental, atrae polinizadores y posee propiedades medicinales registrando efectos favorecedores en la prevención de distintos tipos de demencia, entre ellas el Alzheimer. El objetivo fue evaluar la viabilidad y germinación de semillas de toronjil. Las semillas se colectaron en ejemplares del Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle (Ciudad de México) durante julio de 2023; la viabilidad se determinó mediante el ensayo topográfico con tetrazolio de acuerdo con los lineamientos del ISTA. El ensayo de germinación constituye un diseño experimental completamente aleatorio, los tratamientos pregerminativos consistieron en: imbibición en agua destilada (A) y agua oxigenada (AO), con cinco tiempos de duración 6, 12, 18, 24 y 48 horas c/u, cada tratamiento incluyó tres réplicas de 30 semillas por caja Petri P60. Los resultados se registraron diariamente durante nueve días, los valores de germinación (G) se analizaron con métodos descriptivos (gráficos) y analíticos (índices). El promedio de viabilidad fue 50.75% (intervalo 40-63%). Los porcentajes de G para los tratamientos pre-germinativos y el control (C) presentan valores clasificados como bajos (40 a 55%) y muy bajos (<40% para C, A48, AO24 y AO48), la prueba de Tukey identificó al tratamiento AO48 (4.44% G) como el que difiere significativamente del resto. Consideramos que es necesario ampliar los sitios de colecta de semillas, repetir el ensayo para cada sitio y con base en los resultados, determinar si la especie presenta algún problema reproductivo.

EVALUACIÓN DE DISTINTOS TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE PLUMERIA RUBRA L. (APOCYNACEAE)

Edgar Romero Luis^{1*}, Carlos Ruiz Jiménez¹

¹Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

Autor de correspondencia: 202055368@viep.com.mx

Plumeria rubra pertenece a la familia Apocynaceae, especie arbórea, hojas simples, flores de corola blanca, frutos secos con numerosas semillas con un ala de dispersión; en México se ha utilizado de manera ornamental, incluyendo la medicina tradicional. Esta investigación tiene como objetivo la evaluación de distintos tratamientos pregerminativos en sus semillas; los frutos se colectaron en el municipio de San Juan Atzompa, Puebla; el diseño experimental fue completamente aleatorio, los ensayos de germinación se realizaron en abril de 2024 (A24) y julio de 2025 (J25). Los tratamientos pregerminativos en A24 consistieron en un grupo Testigo (T), eliminación del ala de dispersión (SA), eliminación de las membranas que cubren la semilla (SM), filtros de onda de luz roja (R) y azul (A) cubriéndolas con papel celofán del color correspondiente. En J25 solo se replicaron T, SA y SM ya que presentaron resultados más satisfactorios. Todos los tratamientos se colocaron a luz natural indirecta, con 3 réplicas y 30 semillas cada una. La germinación se monitoreó diariamente, considerándola como el surgimiento de la radícula, los resultados obtenidos se analizaron con métodos descriptivos gráficos y analíticos; el tratamiento pregerminativo que destacó en ambos ensayos fue el SM, el periodo de germinación fue de 12 (A24) y 5 (J25) días, con un intervalo de días de mayor germinación después de la siembra de 2-4 (A24) y 2-3 (J25). Estadísticamente las ANOVAS ($\alpha=0.1$) indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos ni fechas; sin embargo, el retirar la membrana puede acelerar y aumentar la germinación.

CULTIVO IN VITRO DE CALLOS DE ECHEVERIA LAUI

Miguel Ángel Verástegui Vidal ^{1*}, Beth Shanath Pech Amaya¹, Sergio Camacho Montiel ¹, Yolanda Pozos Ruíz¹, Juan Gerardo Ortiz Montiel ¹

¹Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Avenida de los Barrios No. 1, Colonia Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, C.P. 54090.

Autor de correspondencia: fisiovirtual@comunidad.unam.mx

Echeveria laui es una planta suculenta endémica de Cuicatlán en el estado de Oaxaca, Méx., que se encuentra dentro de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán y ha sido extraída en colectas desmedidas para su comercio ilegal, se encuentra protegida en la NOM-059-SEMARNAT-2010 catalogada en peligro de extinción. Por esta razón se busca conservar y reproducir el germoplasma de esta especie, obteniendo callos en cultivo in vitro. Se utilizaron hojas de 8.5 cm, se realizó un lavado con agua y jabón, posteriormente se desinfectaron con alcohol al 80%/1.5 min e hipoclorito de sodio al 20%/20 min, finalmente se sembraron secciones de 1 cm² de hoja en medios líquidos de Murashige y Skoog (1962) suplementados con 1 y 4 mg/l de BAP y tres tratamientos con auxinas (AIA, ANA y 2,4-D) con concentraciones de 1 y 2 mg/l (por separado y en combinaciones). Los tejidos tratados con 2 mg/l de ANA formaron callos friables, el tratamiento con 1 mg/l de ANA y la combinación de con 1 mg/l de BAP+2 mg/l de ANA formaron agrupaciones celulares con un ápice rojizo, en el caso del tratamiento con 1 mg/l de ANA estos ápices se diferenciaron en raíces. El resto de los tratamientos no sobrevivieron, lo que resalta la importancia de la concentración y combinación de reguladores de crecimiento en la inducción y diferenciación de tejidos.

PROPAGACIÓN *IN VITRO* DE *PINGUICULA DEBBERTIANA* SPETA & FUCHS

Sergio Camacho Montiel ^{1*}, Laura Daniela López Rosas¹, Verástegui Vidal Miguel Ángel¹, Pozos Ruiz Yolanda¹, Ortiz Montiel Juan Gerardo¹

¹Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Av. de los Barrios 1, Los Reyes Ixtacala, Barrio de los Héroes, 54090

Autor de correspondencia: sergiocammon@gmail.com

México es considerado como el principal centro moderno de diversificación del género *Pinguicula* contando con cerca del 50% de las especies mundiales. La mayoría micro endémicas, siendo más propensas a la extinción; su estudio no es amplio, careciendo de información sobre su biología y categorías de riesgo. El cultivo *In vitro* representa una alternativa para su conservación y estudio, permitiendo regenerar plantas enteras a partir de un explante. Por esta razón se busca obtener la propagación *In vitro* de explantes de *Pinguicula debbertiana* mediante la utilización de benciladenina (BA) y ácido naftalenacético (ANA). Para ello se utilizó material vegetal proporcionado por el laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Unidad de Morfología y Función en la FES-Iztacala. Se sembraron en medio MS a un cuarto de su concentración, adicionado de 20 g/L de sacarosa, 100 mg/L inositol, 0.4 mg/L de tiamina, a un pH de 5.7 y 2.5 g/L de phytigel. Como tratamientos se realizó un barrido de concentraciones combinando BA (0, 0.5, 1.0 y 2 mg·L⁻¹) y ANA (0, 0.5 y 1 mg·L⁻¹), resultando 12 tratamientos con 2 explantes de hoja por frasco y 3 repeticiones cada uno. Obteniéndose a los 28 días que, la mayor inducción de brotes individualizados de *P. debbertiana* (115±8.66) fue dada por el medio con 0.5 mg L⁻¹ de BA y 1 mg L⁻¹ de ANA. En el medio con BA (2 mg·L⁻¹) se observó la formación de callo de tipo compacto sin desarrollo de otras estructuras.

DESARROLLO DE MICROPLANTAS DE GUARIANTHE AURANTIACA Y LAELIA ANCEPS, MEDIADAS POR ÁCIDO SALICÍLICO

Annet Michel Cruz-Sosa¹, Martha Elena Mora-Herrera¹, Diana Yatzil Reyes-Araujo², Rómulo García-Velasco¹

¹Centro Universitario Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México. Carr. Tenancingo-Villa Guerrero Km. 1.5 Tenancingo, Estado de México, C.P. 52400. ²Posgrado en Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. C.P. 56264

Autor de correspondencia: dyatzil@gmail.com

El daño a los ecosistemas genera gran presión sobre las plantas entre las que destacan las orquídeas. La biotecnología puede ser una alternativa para la conservación, pero presenta algunos problemas que moléculas como el ácido salicílico (AS) pueden ayudar a contrarrestar, debido a que participan en la regulación del desarrollo. No obstante, la respuesta de las plantas al AS varía según la especie, variedad, genotipo, concentración, forma y momento de aplicación. Por lo que el propósito de este trabajo fue evaluar el efecto del AS en el desarrollo de microplantas de *Guarianthe aurantiaca* y *Laelia anceps*, que fueron cultivadas en medio MS al 100% con 0, 10, 50 y 100 de AS μM durante 3 meses, previa germinación de las semillas y desarrollo para alcanzar un tamaño de al menos 0.5 cm. Se evaluó la supervivencia in vitro, longitud de raíces y de hojas, el número de hojas y raíces, y peso fresco. El crecimiento de *G. aurantiaca* fue muy lento y alcanzó el tamaño de 0.5 cm en 20 meses y no crecieron ni hubo diferencias en ninguna variable al ser cultivada con AS. Caso contrario en *L. anceps*, que en 8 meses alcanzó un tamaño promedio de 1.5 cm, además hubo diferencias significativas en todas las variables evaluadas con respecto al testigo. Estos resultados evidencian la diversidad de respuestas fisiológicas a compuestos como el AS entre especies inclusive de la misma familia y resaltan la importancia de continuar investigando protocolos para la inducción de tolerancia al estrés.

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE BROMELIAS EPÍFITAS ANTE ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Sarahi Cruz-Márquez^{1*}, David A. Prieto Torres¹, Celene Marisol Espadas Manrique², Casandra Reyes García²

¹Laboratorio de Biodiversidad y Cambio Global (LABIOCG), Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México #1 Tlalnepantla. C.P. 54090, Estado de México.

²Centro de Investigación Científica de Yucatán. Calle 43 No. 130 x 32 y 34 Chuburná de Hidalgo. CP 97205, Mérida, Yucatán. C.P. 52400.

Autor de correspondencia: 419093671@iztacala.unam.mx

La familia Bromeliaceae, segundo grupo más diverso de epífitas después de las orquídeas (Taylor et al., 2021), cumple funciones clave como captación hídrica y creación de microhábitats, además de su valor ornamental y religioso. Debido a la particular vulnerabilidad de las bromelias epífitas ante perturbaciones climáticas dada su desconexión del suelo y dependencia de fuentes atmosféricas de agua y nutrientes (Cach et al., 2014), éste estudio evaluó la distribución potencial de 20 especies, clasificadas funcionalmente según Reyes-García et al. (2022a) en cinco grupos: Nebulofitas (NB), Pseudobulbosas (PSB), Tanque C3 (TC3), Tanque CAM (TCAM) y Tanque somero (TSOM) mediante modelos de distribución de especies (SDM) ("Kuenm" en R; escenario RCP 8.5, +2°C/+4°C) proyectados para 2070-2100. Se identificaron áreas de estabilidad climática, pérdidas y ganancias potenciales de hábitat, así como el potencial impacto de la huella humana, la deforestación y representatividad dentro de Áreas Naturales Protegidas (ANPs) y (OMECS). El análisis revela diferencias significativas en la resiliencia climática entre grupos funcionales: mientras las NB mantienen el 48% de su área climáticamente estable, los grupos TCAM y TC3 muestran mayor vulnerabilidad con pérdidas proyectadas del 64% y 40% respectivamente bajo escenarios de +4°C. Destaca el impacto estimado de la huella humana sobre TCAM (+12% en zonas críticas) y deforestación (21% de área actual afectada). Si bien, las ANPs incluyen el 70-80% de áreas climáticamente estables, resultan insuficientes para taxa especializados, por lo que se sugiere la priorización de refugios climáticos para grupos TCAM y TC3 ante crecientes presiones antropogénicas.

CRECIMIENTO IN VITRO Y ACLIMATACIÓN DE PLANTAS DE ORQUÍDEA *ENCYCLIA CORDIGERA* (KUNTH) DRESSLER

Marcela Cabañas-Rodríguez¹, María Andrade-Rodríguez^{1*}, Oscar Gabriel Villegas-Torres¹

¹Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Avenida Universidad 1001, Col. Chamilpa. C.P. 62209, Cuernavaca, Morelos.

Autor de correspondencia: maria.andrade@ueam.mx

Las orquídeas son un grupo de plantas amenazado por la reducción de su hábitat, cambio climático, la extracción y comercio ilegal. Las técnicas de cultivo in vitro permiten obtener miles de ejemplares, pero se requiere definir las necesidades para cada especie. Los objetivos fueron estudiar el cultivo in vitro de plantas de *Encyclia cordigera* en tres concentraciones de sacarosa (15, 30 y 45 g L⁻¹) con tres de carbón activado (0, 1 y 3 g L⁻¹), para promover el crecimiento y la aclimatación de plantas en corteza de pino. Se emplearon plántulas de 1.5 cm de altura y dos hojas, que fueron establecidas en 9 medios de cultivo. Para aclimatación, se usaron plantas de 3 cm de altura con dos hojas y se colocaron en charolas, con sustrato de tres tamaños de partícula: ≤ 3 mm, > 3 a ≤ 6 mm y > 6 a ≤ 9 mm. El diseño experimental fue completamente al azar, con 10 repeticiones por tratamiento. El crecimiento de plantas fue mejor con 45 g de sacarosa y 3 g de carbón activado, altura de 6 cm, 5.8 hojas, 8 raíces, y 3.2 mm de diámetro de protocormo, materia seca de parte aérea y de raíces (27.78 y 52.92 mg). Las plantas fueron más pequeñas sin carbón activado. La aclimatación fue mejor con tamaño de partícula ≤ 3 mm, con 74.7 % de sobrevivencia, plantas de 3.3 cm de altura, 3.5 hojas, 5 raíces. El cultivo in vitro fue útil para multiplicar plantas de *E. cordigera*.

EXPLORACIÓN DE LA RESPUESTA MORFOGENÉTICA DE LA ORQUÍDEA *TRICHOCENTRUM ANDREANUM* (COGN.) R. JIMÉNEZ & CARNEVALI A PARTIR DE PLÁNTULAS ASIMBIÓTICAS GERMINADAS *IN VITRO*

Ana Claudia Sánchez-Espinosa^{1*}, Jorge Alberto Cruz-Torres², José Luis Villarruel-Ordaz¹, Carlos E. Méndez-Luna³

¹Instituto de Genética UMAR, ²Instituto de Industrias UMAR, ³Licenciatura en Biología. UMAR, Puerto Escondido.

Autora de correspondencia: anaclaudia@aulavirtual.umar.mx.

Trichocentrum andreandum orquídea endémica de México que tiene pocos registros en los estados de Michoacán, Guerrero, Chiapas y Oaxaca. En Oaxaca la degradación de su ecosistema se aceleró del 2020 a la fecha. El cultivo *in vitro* de tejidos vegetales es una opción para la conservación de especies recalcitrantes y de lento crecimiento. A partir de dos cápsulas cerradas se germinaron las semillas asépticamente en medio Knudson C (K400 phytotechlab). Una vez germinadas se seleccionaron plántulas de 1 - 2 cm de longitud, sin raíz y se establecieron en medio Knudson C adicionado con tiamina (0.1mg/l), Ac. Nicotínico (0.5mg/l), piridoxina (0.5mg/l), Biotina (0.01mg/l), ácido pantoténico (1mg/l), cisteína (20mg/l), ac. Ascorbico (25mg/l) y 3g/l de phytigel. Se hicieron 15 tratamientos adicionados con ANA (0,0.1,0.5 y 1mg/l) y BAP (0, 0.5, 1 y 1.5mg/l) solas o en combinación. Se sembró un explante por frasco y se emplearon 15 explantes por tratamiento. Después de 45 días de inducción se transfirieron a medio Kc modificado sin reguladores de crecimiento. Se obtuvo formación de plb's en casi todos los tratamientos, el mejor promedio de brotes se dio en el tratamiento con 0.5 mg/l de BAP. Las combinaciones de BAP/ANA no fueron favorables para la consolidación de los brotes después de 125 días. Se obtuvo también la formación de callo en tratamientos con 1mg/l de ANA y 0.5 de en combinación con 1.5mg/l de BA que posteriormente genero plb's. Este es el primer reporte para el desarrollo de un protocolo de regeneración *in vitro* para esta orquídea.

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN Y PÉRDIDA DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS DE *ZEPHYRANTHES FOSTERI* TRAUB (AMARYLLIDACEAE)

Carlos Alberto Ruiz Jiménez^{1*}, Fabiola Dafne Saavedra Millán²

¹Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

²Jardín Botánico San Juan Bautista De La Salle – Escuela Cristóbal Colón. Avenida Miguel Bernard # 52, Col. Siete Maravillas. C.P. 07320 Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México.

Autor de correspondencia: carlos.ruizj@viep.com.mx

El mayito (*Zephyranthes fosteri*) es una herbácea perenne de 5 a 45 cm de altura, con bulbo ovoide, hojas tardías, flores de color rosa o blanco, el fruto es una cápsula subglobosa con semillas semicirculares. Se distribuye en pastizales, matorrales y bosques de pino-encino de México y Centroamérica. El objetivo de esta investigación fue evaluar la germinación y pérdida de viabilidad en semillas de *Zephyranthes fosteri*. Los frutos se colectaron en 2023, 2024 y 2025 en el campus de Ciudad Universitaria de la BUAP. El diseño experimental fue completamente aleatorio, los ensayos de germinación se realizaron en julio de 2024 (J24) y julio de 2025 (J25), los tratamientos pregerminativos consistieron en la imbibición en agua destilada y oxigenada en cuatro tiempos (6, 12, 18 y 24 horas). Se establecieron tres réplicas de 30 semillas en cajas Petri P60 para cada tratamiento. Los resultados de la germinación se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos gráficos y analíticos. La ANOVA ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación de las tres fechas no presentan diferencias significativas entre los tratamientos ni fechas para todos los tratamientos de J23, J24 y J25, los promedios del porcentaje de germinación fueron muy altos (86.67 – 100%). Las diferencias observadas en los valores porcentuales de germinación de las tres fechas analizadas no pueden ser considerados como evidencia de la pérdida de viabilidad a través del tiempo debido a que en la prueba de ANOVA ($\alpha=0.05$) no se presentaron diferencias significativas.

EVALUACIÓN DE DISTINTOS TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE CASTILLEJA TENUIFLORA BENTH. (OROBANCHACEAE)

Alexander Montero Barbecho^{1*}, Carlos Alberto Ruiz Jiménez²

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

²Área de Educación y Divulgación, Jardín Botánico Universitario, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570. Puebla, Puebla.

Castilleja tenuiflora es una planta herbácea o subarbusto hemiparásito facultativo conocida en la medicina tradicional mexicana y por su valor farmacológico como sedante, anti-ulcerogénico, citotóxico y anti-inflamatorio. Se distribuye en bosques de coníferas, encinos, matorrales y pastizales, es común en las orillas de parcelas y caminos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres tratamientos pregerminativos sobre la germinación de semillas de *Castilleja tenuiflora*: inmersión en té verde, solución de alginato de sodio y agua oxigenada. Las semillas se recolectaron de plantas silvestres de dos localidades de bosques de coníferas: Ajusco (A) en Ciudad de México y Río Frío (RF) en Estado de México. El diseño experimental fue completamente aleatorio, los tratamientos pre-germinativos consistieron en la imbibición durante 15 minutos en té verde, solución de alginato de sodio y agua oxigenada. Se establecieron tres réplicas de 30 semillas en cajas Petri para cada tratamiento. Los resultados de la germinación se registraron diariamente y se analizaron con métodos descriptivos (gráficos) y analíticos (índices). Las ANOVA ($\alpha=0.05$) para los porcentajes de germinación de ambas localidades indican diferencias significativas entre los tratamientos, la prueba de Tukey identificó que los tratamientos A-AL y RF-Control presentan medias significativamente diferentes. Los porcentajes de germinación en todos los tratamientos para las dos localidades fueron muy bajos (<40%, intervalo de 12.22 a 31.11%). El tratamiento con AO promovió una germinación más rápida y homogénea. Concluimos que se requiere mayor investigación para incrementar los porcentajes de germinación de semillas de *Castilleja tenuiflora*.

USO DE LED DUAL SPECTRUM EN LA FOTOMORFOGÉNESIS DE ESQUEJES DE JITOMATE (*SOLANUM LICOPERSICUM* L.)

Julio César Vicente-López¹, Karina Patricia Bañuelos-Hernández^{1*}, María del Carmen Arenas -Del Ángel¹, Ismael Quiroz-Guerrero¹, Jorge Luis Arenas-Del Ángel²

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 1Universidad Veracruzana, Calle Josefa Ortiz de Domínguez S/N, Col. Centro, Peñuela, Amatlán de Los Reyes, Veracruz, México. C.P. 94945.

²Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Veracruzana, Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, Xalapa Veracruz, México C.P. 91000 (kbanuelos@uv.mx)*

RESUMEN

México se encuentra dentro de los diez países principales productores de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) a nivel mundial, no obstante, su producción presenta un gran reto en la producción debido a diversos factores bióticos y abióticos. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la luz LED dual spectrum (azul - roja) sobre la fotomorfogénesis de esquejes de jitomate, Se evaluó la altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), longitud de raíz (LR), días a floración (DF), número de flores (NF), contenido indirecto de clorofila apical y basal (CIC), determinación de clorofilas a, b, totales y carotenoides (DCC), biomasa fresca (BF) y seca (BS) de tallo y raíz. Los tiempos de exposición fueron de 12, 15 y 18 horas, con un control (0 h). Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y cinco esquejes por unidad experimental. Los fotoperiodos de 15 y 18 h de luz LED dual spectrum presentaron diferencias estadísticas significativas en la AP, DT, LR, CIC, DCC, BF y BS. contra el fotoperiodo de 12 h y control. La variable NF presentó diferencias estadísticas en el tratamiento de 18 h respecto al control. Estos resultados mostraron que la fotomorfogénesis varía de acuerdo con la exposición a los fotoperiodos de luz LED dual spectrum, demostrando que esta tecnología puede ser una opción viable para disminuir costos de semilla y aumentar la supervivencia de los esquejes de jitomate.

MELATONINA COMO HERRAMIENTA AGRONÓMICA PARA MITIGAR LOS EFECTOS DE LA SALINIDAD EN EL CULTIVO DE CHILE HABANERO (*CAPSICUM CHINENSE* JACQ.)

Camilo Escalante-Magaña^{1*}, Dayron Otero-Rodríguez¹, Fabiola León-García¹, Fátima Medina-Lara¹, Ileana Echevarría-Machado¹, Manuel Martínez-Estévez¹

¹Unidad de Biología Integrativa, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Calle 43 No. 130 X 32 y 34, Colonia Chuburná de Hidalgo, Mérida 97205, Yucatán, México. (ubi_cescalante@cicy.mx)*.

RESUMEN

La salinidad en el suelo representa un desafío importante para la agricultura, afectando el crecimiento y la productividad de los cultivos. Entre las estrategias adaptativas de las plantas se encuentra la síntesis de melatonina, una hormona multifuncional que favorece la germinación, el desarrollo vegetal y la defensa antioxidante. Esta investigación evaluó el efecto de la melatonina exógena en plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) sometidas a estrés salino, mediante análisis de crecimiento, contenidos de K^+/Na^+ , expresión de genes relacionados con el metabolismo de la prolina y flujo iónico en raíces. Se utilizaron plántulas de 45 días cultivadas en hidroponía y tratadas con melatonina (25, 50 y 100 μM), en presencia y ausencia de NaCl (100 mM). Tras siete días de tratamiento, se cuantificaron los contenidos de K^+ y Na^+ mediante espectrofotometría de absorción atómica. Se observó un ligero aumento de K^+ con 25 μM de melatonina y presencia de sal, mientras que Na^+ se incrementó en todos los tratamientos con sal y melatonina. Los niveles de transcritos fueron mayores en hojas bajo tratamiento combinado de melatonina y NaCl, y el contenido de prolina disminuyó con 50 μM de melatonina en presencia de sal. Finalmente, los flujos de K^+ aumentaron con la aplicación de melatonina, y los flujos de H^+ favorecieron su entrada en raíces con 50 y 100 μM . Estos resultados sugieren que la melatonina podría mejorar la tolerancia del chile habanero al estrés salino, mediante la regulación del transporte iónico y el metabolismo de la prolina.

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DEL FACTOR DE TRANSCRIPCIÓN CRWRKY DE CHLAMYDOMONAS REINHARDTII Y SU PARTICIPACIÓN EN LA RESPUESTA A ESTRÉS ABIÓTICO

Marta Guadalupe Lizama-Gasca^{1*}, Carolina Peñúñuri-Cantú¹, Jorge Tzec-Interían¹, Sergio García-Laynes¹, Felipe Augusto Barredo-Pool¹, Santy Peraza-Echeverría¹, Virginia Herrera-Valencia¹

¹Unidad de Biotecnología, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Calle 43 No. 130 X 32 y 34, Colonia Chuburná de Hidalgo, Mérida 97205, Yucatán, México.

Autor de correspondencia: mar_10914@hotmail.com

El factor de transcripción (FT) CrWRKY de *Chlamydomonas reinhardtii* es una proteína reguladora clave en la expresión génica en respuesta a estímulos ambientales. Los FTs WRKY son conocidos por su papel en la adaptación al estrés abiótico, permitiendo a las microalgas y plantas ajustar sus procesos biológicos ante condiciones adversas. *C. reinhardtii* es una microalga verde unicelular utilizada como organismo modelo debido a su capacidad para adaptarse a condiciones ambientales adversas. Este estudio tuvo como objetivo determinar si CrWRKY de *C. reinhardtii* es un FT que se regula en respuesta a estrés abiótico. Se identificó y caracterizó el DNAC de CrWRKY en cepas de *C. reinhardtii* cultivadas en condiciones normales y estresantes. CrWRKY contiene dos dominios WRKY conservados y un motivo de dedo de zinc, clasificándolo en el grupo I de FTs. CrWRKY se localizó en núcleos de células de cebolla y mostró ser funcional en células de levadura. Los análisis de expresión mediante RT-qPCR, indicaron que CrWRKY es regulado por factores como NaCl (sal), sorbitol, frío (5 °C) y calor (40 °C), indicando su participación activa en la respuesta al estrés. Este estudio pionero en *C. reinhardtii* aporta información valiosa sobre la función de los FTs WRKY en la respuesta al estrés abiótico. La manipulación de la expresión génica de estos FTs podría permitir el desarrollo de microalgas resistentes a condiciones adversas, mejorando su aplicación en biotecnología, como la producción de biocombustibles y la biorremediación. Comprender los mecanismos de regulación génica en *C. reinhardtii* podría ser crucial para desarrollar cultivos agrícolas más resistentes al cambio climático y estrés.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los patrocinadores por su apoyo para realizar esta Reunión Científica de Fisiología Vegetal. Agradecemos al comité organizador, al comité científico por el trabajo realizado para realizar esta edición especial sobre fisiología vegetal. Gracias a las autoridades presentes en la inauguración y al personal del Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP.

Coordinadores de la información

Dra. Esmeralda Judith Cruz Gutiérrez

Investigadora de la Conservación de Recursos Genéticos Vegetales

Dr. Marco Antonio Ramírez Mosqueda

Investigador de la Conservación de Recursos Genéticos Vegetales

Edición

Dra. Esmeralda Judith Cruz Gutiérrez

Investigadora de la Conservación de Recursos Genéticos Vegetales

Dr. Marco Antonio Ramírez Mosqueda

Investigador de la Conservación de Recursos Genéticos Vegetales

Diseño y fotografía

Dra. Esmeralda Judith Cruz Gutiérrez

Investigadora de la Conservación de Recursos Genéticos Vegetales

Dr. Marco Antonio Ramírez Mosqueda

Investigador de la Conservación de Recursos Genéticos Vegetales

Código INIFAP

MX-0-241719-52-15-00-14-17

La presente publicación se terminó de editar en México, en diciembre del 2025.

Publicación electrónica disponible en

la biblioteca digital del INIFAP:

https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content

Publicación revisada por el
Comité Editorial del Centro Nacional de Recursos Genéticos
Presidente

Dr. Carlos Hugo Avendaño Arrazate

Secretario

Dr. Ramón Ignacio Arteaga Garibay

Vocales

Dr. Juan Manuel Pichardo González

Dra. Esmeralda Judith Cruz Gutiérrez

Dr. Ismael Fernando Chávez Díaz

Dr. David Urbán Duarte

M.C. Francisco Fabián Calvillo Aguilar

M.C. Marco Aurelio Aragón Magadán

Dra. Lorena Jacqueline Gómez Godínez

Dr. Luis Felipe Guzmán Rodríguez

Personal Investigador del

Centro Nacional de Recursos Genéticos

Dr. Juan Manuel Pichardo González	Colección de Semillas ortodoxas
Dr. Martín Quintana Camargo	Colección de Semillas ortodoxas
Dr. Carlos Iván Cruz Cárdenas	Colección de Semillas ortodoxas
M.C. Francisco Fabián Calvillo Aguilar	Colección de Semillas ortodoxas
Dra. Esmeralda Judith Cruz Gutiérrez	Colección <i>ex situ</i> de Tejido Vegetal
Dra. Gabriela Sandoval Cancino	Colección <i>ex situ</i> de Tejido Vegetal
Dr. Marco Antonio Ramírez Mosqueda	Colección <i>ex situ</i> de Tejido Vegetal
Dr. Luis Felipe Guzmán Rodríguez	Colección de Ácidos Nucleicos
M.C. Marco Aurelio Aragón Magadán	Colección de Ácidos Nucleicos
Dra. Alma Armenta Medina	Colección de Ácidos Nucleicos
Dr. José Luis Aguirre Noyola	Colección de Ácidos Nucleicos
Dr. Jorge David Cadena Zamudio	Colección de Ácidos Nucleicos
M.C. Galilea de Jesús Fonseca González	Colección de Recursos Zoogenéticos
Dr. David Urbán Duarte	Colección de Recursos Zoogenéticos

Dr. Horacio Álvarez Gallardo	Colección Recursos Zoogenéticos	de
Dr. Ramón I. Arteaga Garibay	Colección Microbianos	de
Dra. Lily Xóchitl Zelaya Molina	Colección Microbianos	de
Dr. José Martín Ruvalcaba Gómez	Colección Microbianos	de
Dr. Ismael Fernando Chávez Díaz	Colección Microbianos	de
Dra. Lorena Jacqueline Gómez Godínez	Colección Microbianos	de



Gobierno de
México

Agricultura
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural



CENTROS DE INVESTIGACIÓN REGIONAL

NOROESTE

- 1 Valle de Mexicali
- 2 Todos Santos
- 3 Costa de Hermosillo
- 4 Dr. Norman E. Borlaug
- 5 Valle del Fuerte
- 6 Valle de Culiacán

NORTE CENTRO

- 7 La Campana
- 8 Delicias
- 9 Valle del Guadiana
- 10 La Laguna
- 11 Zacatecas
- 12 Pabellón

NORESTE

- 13 Saltillo
- 14 Río Bravo
- 15 General Terán
- 16 Las Huastecas
- 17 San Luis

PACÍFICO CENTRO

- 18 Santiago Ixcuintla
- 19 Centro - Altos de Jalisco
- 20 Tecomán
- 21 Valle de Apatzingán
- 22 Uruapan

CENTRO

- 23 Bajío
- 24 Valle de México

PACÍFICO SUR

- 25 Zacatepec
- 26 Iguala
- 27 Valles Centrales de Oaxaca
- 28 Centro de Chiapas
- 29 Rosario Izapa

GOLFO CENTRO

- 30 San Martinito
- 31 Cotaxtla
- 32 La Posta
- 33 Ixtacuaco
- 34 El Palmar
- 35 Huimanguillo

SURESTE

- 36 Edzná
- 37 Mococho
- 38 Chetumal

CENTROS NACIONALES DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA

- 39 AF (Agricultura Familiar)
- 40 SAI (Salud Animal e Inocuidad)
- 41 FyMA (Fisiología y Mejoramiento Animal)
- 42 RASPA (Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera)
- 43 COMEF (Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales)
- 44 CNRG (Centro Nacional de Recursos Genéticos)



www.gob.mx/inifap

En esta obra se presentan los trabajos más actuales sobre fisiología vegetal, con temas diversos como fisiología de plantas de zonas áridas y semiáridas, fisiología de forrajes y cultivos, fisiología de la conservación de recursos genéticos vegetales y ecofisiología vegetal. El objetivo principal de esta obra como de la reunión fue, difundir los resultados recientes de investigación y las tecnologías de vanguardia en el área de la fisiología vegetal y servir como espacio de vinculación entre productores, industriales, empresarios, técnicos, investigadores, profesores, instituciones, estudiantes, agentes de cambio, funcionarios del sector y público en general, para contribuir en el desarrollo y aportar conocimientos de fisiología vegetal para los diferentes problemas que se tengan en el área científica y en el campo mexicano.

