

SIMPOSIO NACIONAL DE GARBANZO MEMORIA



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 de Investigación
Regional del Noroeste**

Campo Experimental Costa de Hermosillo
Hermosillo, Sonora, México

Memoria Científica No.27, diciembre 2025

ISSN: 2954-4432

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 Montaño

Subsecretario de Agricultura y Desarrollo Rural

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES, FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Alejandro Espinoza 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

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NOROESTE

Dr. Jorge Armando Bonilla Cárdenas

Encargado del Despacho de los asuntos
correspondientes de la Dirección Regional

Dra. Celia De La Mora Orozco

Encargada del Despacho de los asuntos
correspondientes de la Dirección de Investigación

M.A. Luis Alberto Avilés Muñoz

Encargado del Despacho de los asuntos
correspondientes de la Dirección de Administración

CAMPO EXPERIMENTAL COSTA DE HERMOSILLO

M.C. Teodoro Cervantes Mendivil

Jefe de Campo

SIMPOSIO NACIONAL DE GARBANZO MEMORIA

SIMPOSIO NACIONAL DE GARBANZO MEMORIA

COMPILADORES:

M.Sc. Pedro Francisco Ortega Murrieta
Investigador del Programa de Garbanzo
Campo Experimental Costa de Hermosillo – CIRNO

M.Sc. Fernando Afonso Vieira de Figueiredo
Investigador del Programa Frutales
Campo Experimental Costa de Hermosillo – CIRNO

M.C. Isidoro Padilla Valenzuela
Investigador del Programa de Frijol y Garbanzo
Campo Experimental Norman E Borlaug – CIRNO

EDITORES:

M.Sc. Fernando Afonso Vieira de Figueiredo
M.Sc. Pedro Francisco Ortega Murrieta
M.A. Karla Gpe Domínguez Canizales



Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Centro de Investigación Regional Noroeste
Campo Experimental Costa de Hermosillo
Hermosillo, Sonora, México
Memoria Científica Núm. 27
diciembre de 2025

SIMPOSIO NACIONAL DE GARBANZO MEMORIA

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

SIMPOSIO NACIONAL DE GARBANZO, Año 7, No. 1, a diciembre de 2025, es una publicación anual editada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Avenida Progreso, Número 5, Colonia Barrio de Santa Catarina, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México. C.P. 04010. <https://eventosagrodesonora.mx>. Editor responsable: Pedro Francisco Ortega Murrieta. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-030914593500-102. ISSN: 2954-4432, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho del Autor. Responsable de la última actualización de este número: Erasmo Valenzuela Cornejo. Campo Experimental Costa de Hermosillo, Pascual Encinas FÉLIX No 72, Col. La Manga, Hermosillo, Sonora, México. C.P. 83220.

Primera edición 2025

Tiraje: 500 ejemplares.

No está permitida la reproducción total o parcial de esta memoria, 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 de la institución.

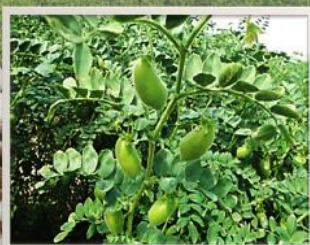


XIII Simposio NACIONAL DE GARBANZO

20 de Noviembre de 2025

Conferencias -Carteles de investigación
Módulos comerciales

Auditorio de la Asociación Agrícola Local de
Productores de Uva de Mesa AALPUM
Hermosillo, Sonora, México



❖ Combate de enfermedades

❖ Mejoramiento genético

❖ Cambio climático

❖ Manejo agronómico

❖ Nuevas variedades



Inscripciones: \$700.00

Estudiantes: \$450.00

Precios incluyen IVA

CUPO LIMITADO:

120 PERSONAS

INFORMES:

Campo Experimental Costa de Hermosillo. Pascual Encinas Félix 72. Colonia La Manga. Hermosillo, Sonora.

C.P. 83200, Tels: 01(55) 3871-8700 ext: 81339 Cel: (662) 362-6368 Correo: simposiogarbanzo@gmail.com

<https://www.gob.mx/inifap> <https://www.eventosagrodersonora.mx/>

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	1
CONFERENCIAS	3
LA CRISIS CLIMÁTICA Y PERSPECTIVAS PARA LA AGRICULTURA EN EL 2025	4
Introducción	4
Estado del cambio climático a nivel global y regional	4
Impactos del cambio climático en la agricultura	7
¿Cómo la agricultura puede ayudar a contrarrestar el cambio climático?	12
Literatura citada	18
ASPECTOS AGRONÓMICOS Y DE CLIMA EN EL MANEJO DE LAS ENFERMEDADES DEL GARBANZO	22
Resumen	22
Introducción	23
Época de siembra	24
Enfermedades	27
Enfermedades foliares	27
Enfermedades radiculares	31
Manejo integrado	32
Manejo integrado por nivel de riesgo de inóculo	33
Nematodos	34
Estrategias de manejo integrado	35
Conclusiones	36
Literatura citada	37

GARBANZO DE ALTA CALIDAD A TRAVÉS DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO	39
Resumen	39
Introducción	40
Metodologías de mejoramiento genético aplicadas al garbanzo.	41
Selección masal	41
Selección familiar	42
Selección estratificada	42
Hibridación dirigida	42
Resultados y discusión	43
Mejoras en calidad del grano tipo Kabuli	43
Incremento en productividad bajo condiciones de temporal y riego	43
Avances en tolerancia a enfermedades de raíz	44
Integración progresiva de herramientas complementarias	44
Conclusiones	45
Literatura citada	46
EFFECTO DEL ESTRÉS POR ALTAS TEMPERATURAS EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GARBANZO	48
Resumen	48
Introducción	49
Materiales y métodos	50
Resultados y discusión	51
Conclusiones	55
Literatura citada	57

LÍNEAS ÉLITE DE GARBANZO RESILIENTES A ESTRÉS HÍDRICO Y ENFERMEDADES DE LA RAÍZ.....	58
Resumen.....	58
Introducción.....	59
Materiales y Métodos.....	60
Riego deficitario.....	71
Literatura revisada.....	75
IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS DE GARBANZO SUPERIORES EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO EN ENSAYOS PRELIMINARES EN LA COSTA DE HERMOSILLO, SONORA.....	76
Resumen.....	76
Introducción.....	77
Materiales y Métodos.....	79
Resultados y discusión.....	79
Conclusiones.....	82
Literatura citada.....	82
LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA: UNA ALTERNATIVA PARA LA AGRICULTURA REGENERATIVA EN GARBANZO.....	84
Resumen.....	84
Introducción.....	85
Materiales y métodos.....	87
Resultados y discusión.....	87
Conclusión.....	92
Literatura citada.....	93
PROBLEMAS Y SOLUCIONES EN SISTEMAS DE RIEGO PRESURIZADO RELACIONADOS CON LA CALIDAD DEL AGUA	95
Introducción.....	95

Mantenimiento de los sistemas de filtrado	96
Filtros de arena	97
Funcionamiento	97
Retrolavado	97
Mantenimiento al final de la temporada	98
Dispositivos del cabezal del sistema	99
Caudalímetros o medidores de flujo	99
Tomas de presiones manométricas	100
Mantenimiento y lavado de tuberías	100
Problemas Relacionados con la Calidad del Agua	101
Uso de Tecnología en el Monitoreo y Optimización del Riego	102
Literatura citada	103
CARTELES DE INVESTIGACIÓN	104
EFFECTO DE LA ADICIÓN DE MALTA DIASTÁSICA EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE UNA BEBIDA A BASE DE GARBANZO (<i>Cicer arietinum</i> L.)	105
Resumen	105
Introducción	106
Materiales y métodos	106
Resultados y discusión	107
Conclusiones	109
Literatura citada	110
RENDIMIENTO DE GRANO Y EFICIENCIA HIDRICA DE LÍNEAS AVANZADAS DE GARBANZO (<i>Cicer arietinum</i> L.) BAJO DOS ESTRATEGIAS DE RIEGO EN BAJA CALIFORNIA SUR	111
Resumen	111
Introducción	112

Materiales y métodos	113
Análisis estadístico	114
Resultados y discusiones	115
Conclusiones	121
Literatura citada	122
COMPORTAMIENTO POBLACIONAL DE NEMATODOS EN ZONAS PRODUCTORAS DE GARBANZO EN LA COSTA DE HERMOSILLO SONORA, MÉXICO	123
Resumen	123
Introducción	124
Materiales y métodos	125
Extracción, identificación y cuantificación	126
Resultados	127
Comparación con Umbrales de Daño	128
Implicaciones para el Manejo	128
Conclusiones	129
Recomendaciones para productores	129
Literatura citada	130
POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE BOTANAS DE SORGO ROJO (Sorghum bicolor L.) NIXTAMALIZADO ENRIQUECIDAS CON HARINA DE GARBANZO DESI: ÁCIDO FERÚLICO, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTES Y PROTEÍNA	131
Resumen	131
Introducción	132
Materiales y métodos	135
Resultados y discusión	136
Conclusiones	140

Literatura citada	141
VALIDACIÓN DE GENOTIPOS DE GARBANZO TIPO KABULI	143
Resumen	143
Introducción.....	144
Materiales y métodos.....	145
Resultados y discusión	146
Conclusiones	148
Literatura citada	149
ESTUDIO EXPLORATORIO: BROWNIES FUNCIONALES A BASE DE HARINA DE GARBANZO (Cicer arietinum L.) - BETABEL (Beta vulgaris L.).	151
Resumen	151
Introducción.....	152
Materiales y Métodos	154
Evaluaciones.....	156
Resultados y discusión	156
Conclusión.....	161
Literatura Citada.....	161
Agradecimientos	164

PRESENTACIÓN.

El cultivo del garbanzo se siembra durante el ciclo otoño-invierno y es una de las mejores opciones de producción en el noroeste de México por su bajo consumo de agua y por su importancia económica al ser un generador de divisas. La superficie de siembra promedio cosechada en el noroeste de México en los últimos cinco años (2020-2024) fue de 73,924 ha, con rendimiento promedio de 1.95 t ha⁻¹, y con una producción de 144,544 toneladas anuales (SIAP, 2024) con un valor de la producción de aproximadamente 2,818 millones de pesos.

Entre los principales avances tecnológicos que inciden en la productividad y calidad del cultivo están las prácticas agronómicas como el manejo óptimo del agua de riego ocasionado por la incorporación de algunas áreas de producción en Sonora y Baja California Sur a los sistemas de riego presurizado y nuevas tecnologías como la biofertilización, por lo que solo mediante la investigación e innovación será posible enfrentar estos retos para mantener e incrementar la productividad y rentabilidad de este cultivo. En la actualidad la solución a los problemas que han impactado la producción de garbanzo, se ha logrado mediante la generación y uso de variedades mejoradas con resistencia o tolerancia a las enfermedades de la raíz, obtenidas mediante mejoramiento genético y el mejoramiento de plantas, además de la adecuación del manejo agronómico.

Como parte de la estrategia para solventar la problemática que afronta el cultivo de garbanzo, se propone fomentar la difusión de las tecnologías disponibles en el INIFAP e instituciones de enseñanza, mediante eventos de transferencia de tecnología que aglutinen a técnicos, académicos, productores, comercializadores e industriales a fin de darle mayor valor a la cadena productiva de este cultivo; para ello se está realizando el “XIII Simposio Nacional de Garbanzo” en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Para el desarrollo de este evento se cuenta con la participación conjunta del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Fundación Pro Investigación Agrícola del Estado de Sonora A.C (FIAES), la Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. (SOMEFI), el Comité Estatal de Sanidad de Vegetal de Sonora, la Junta Local de Sanidad Vegetal de Hermosillo, empresas del ramo y agricultores cooperantes. Esperamos que los avances y resultados de la investigación en garbanzo apoyen a mejorar los sistemas de producción del garbanzo, así como la sustentabilidad y rentabilidad de esta leguminosa.

M.C. Teodoro Cervantes Mendivil
Jefe de Campo del CECH – INIFAP

CONFERENCIAS



LA CRISIS CLIMÁTICA Y PERSPECTIVAS PARA LA AGRICULTURA EN EL 2025

Martín de Jesús Chávez-Valenzuela¹ y César Hinojo-Hinojo²

¹Departamento de Agricultura y Ganadería (DAG), Universidad de Sonora, Hermosillo, Son., ²Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICTUS), Universidad de Sonora, Hermosillo, Son. México
Correo electrónico: cesar.hinojo@unison.mx

Introducción

La situación del cambio climático cada vez se está agravando. Avanzando a un ritmo aún más acelerado, cada vez es más evidente la seria amenaza que representa para la agricultura, los ecosistemas y el bienestar humano en general. En este nuestro segundo año de participar en el Simposio Nacional de Garbanzo, presentamos una actualización en 3 áreas principales: 1) nuestro conocimiento científico del estado del cambio climático global y regional, 2) Cómo el cambio climático está impactando a la agricultura y 3) avances en nuestras investigaciones sobre el potencial de la agricultura para mitigar el cambio climático y en desarrollar un sistema de monitoreo para explotar ese potencial.

Estado del cambio climático a nivel global y regional

El principal aspecto que está cambiando el clima a nivel global y de manera más consistente es el aumento en la temperatura. Para evaluar qué tanto ha cambiado la

temperatura, se ha adoptado como punto de referencia la temperatura promedio anual del mundo entre los años 1850 y 1900 (IPCC, 2021). Dado que el clima hace referencia a las condiciones meteorológicas promedio a largo plazo (10 o más años), decir que existe un cambio climático implica que las condiciones meteorológicas promedio de 10 o más años están cambiando. El aumento en la temperatura global comenzó de manera más notoria alrededor de 1970, y ha continuado aumentando desde entonces (WMO 2025). La temperatura promedio global durante la década de 2011 a 2020 fue 1.09 °C más cálida que la temperatura del periodo 1850 a 1900 (IPCC, 2021). Sin embargo, los datos actuales indican dos hallazgos importantes: 1) a partir del 2010 se aceleró el calentamiento global, con incrementos anuales de temperatura mayores a los de las décadas anteriores (Ripple *et al.*, 2025), y 2) 2024 fue el primer año donde la temperatura promedio global superó los 1.5 °C por encima de las temperaturas de 1850-1900 (WMO 2025).

Superar los 1.5 °C de calentamiento tiene consecuencias importantes. Por un lado, indica que nos estamos acercando mucho a no cumplir la primera meta del Acuerdo de París, en el cual los países se comprometieron a evitar que la temperatura del planeta no superará los 1.5 °C. Los datos actuales no indican con certeza que el promedio a largo plazo de la temperatura ya está en 1.5 °C, pero dada la incertidumbre de los datos actuales tampoco se puede descartar que no hemos llegado a ese nivel (WMO, 2025). Por otro lado, se espera que a mayor aumento en la

temperatura aumente la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, tales como olas de calor, sequías, inundaciones y riesgo de incendios (IPCC, 2021). De hecho, ya se observan aumentos claros en la ocurrencia e intensidad de dichos eventos extremos, con mayor recurrencia de olas de calor en todo el mundo, y en algunas regiones más eventos de sequías extremas (como en el suroeste de Estados Unidos de América y muy probablemente también en el noroeste de México) y de lluvias extremas (IPCC 2021, Ripple *et al.*, 2025). De hecho, es esta mayor frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos los que más nos preocupan y los que están teniendo un efecto muy fuerte sobre nuestro bienestar e impactos en la producción de los sectores agropecuarios.

En el noroeste de México la temperatura está subiendo más rápidamente que en otras regiones (Gutiérrez *et al.*, 2021; Iturbide *et al.*, 2022). Así mismo, nuestras investigaciones indican que en México las sequías no solo se están volviendo cada vez más intensas y frecuentes, sino que también se están volviendo cada vez más extensas (Hinojo-Hinojo en preparación). De hecho, nuestros datos indican que las sequías del 2023 y 2024 fueron las más intensas y extensas para el país desde los 90s.

La evidencia científica actual señala que sin duda alguna los humanos estamos causando estos cambios climáticos (IPCC, 2021). La principal manera en que lo hacemos es emitiendo una gran cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera, principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Es

importante resaltar que el futuro del clima del planeta en las siguientes décadas y siglos depende de las emisiones que hagamos en los siguientes años. Se han propuesto varios futuros posibles, donde dependiendo de si reducimos nuestras emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, o estas siguen aumentando, pudiéramos lograr mantener el calentamiento del planeta debajo de los 2 °C o alcanzar 4 o 5 °C de calentamiento hacia el año 2100. En la historia del planeta, cambios de temperatura de esa magnitud han tardado miles o millones de años en alcanzarse, y nosotros lo estamos logrando en unas cuantas décadas. Debemos evitar a toda costa llegar a esos niveles tan extremos de calentamiento acelerado, porque eso aumentaría sumamente la frecuencia e intensidad de los eventos extremos (IPCC 2021) y sería un gran reto lograr adaptar la agricultura a tales cambios tan rápidos. En la actualidad, la agricultura por sí sola emite alrededor de una cuarta parte de estos gases (Crippa *et al.*, 2021, Tubiello *et al.*, 2022). De esta manera, la agricultura es tanto un causante como una víctima del cambio climático.

Impactos del cambio climático en la agricultura

Año tras año podemos actualizar y enlistar los efectos negativos que el cambio climático provoca en la agricultura, y aunque esta información circula constantemente, es necesario refrescar la memoria para entender con claridad el escenario actual y plantear respuestas. En 2023, por ejemplo, se registraron disminuciones cercanas al 5 % en el rendimiento de cultivos básicos (maíz, trigo, soya, arroz y cebada) asociados directamente a las tendencias climáticas

(Lobell & Di Tommaso, 2025). Estos impactos se reflejan también en métricas más integrales como la Productividad Total de los Factores, la cual estima cuanta producción se obtiene por unidad de trabajo, tierra y recursos; bajo este indicador, la productividad agrícola mundial ha caído alrededor de 21 % desde 1961, con reducciones aún más severas en el sur global (incluyendo México) donde las pérdidas alcanzan entre 26 % y 34 % (Ortiz-Bobea *et al.*, 2021). A nivel nacional, esta presión climática se manifestó en una reducción del 2.1 % en la producción agrícola total, cerrando el 2024 con 286.3 millones de toneladas (GCMA, 2025). Todo esto ocurre mientras las proyecciones globales indican que el aumento continuo de las temperaturas reducirá los rendimientos de la mayoría de los cultivos básicos, incluso considerando las adaptaciones agronómicas que ya están en marcha (Hultgren *et al.*, 2025). Veremos cómo cierra este 2025, pero la tendencia ya nos advierte del rumbo que estamos tomando.

Los efectos del cambio climático en la agricultura pueden manifestarse tanto de forma directa como indirecta (Yuan *et al.*, 2024). Entre los impactos directos se encuentran las alteraciones en el desarrollo fisiológico y fenológico de los cultivos, expresadas en cambios abruptos de los ciclos agrícolas, reducciones en el rendimiento (por afectaciones a la biomasa verde, floración o frutos) y disminuciones en la calidad. Por ejemplo, un mal llenado de grano o abortos de flores y frutos en diferentes cultivos de la Costa de Hermosillo (observación personal). De manera indirecta, el

cambio climático modifica el funcionamiento general de los ecosistemas agrícolas al intensificar eventos extremos, alterar los patrones de precipitación y modificar la dinámica de plagas y enfermedades.

En las regiones áridas se concentra una parte muy importante de la agricultura mundial, aportando cerca del 60 % de la producción global (UNESCO, 2009). Sin embargo, diversos estudios señalan que todavía existen grandes vacíos en investigación y tecnologías específicas para atender la agricultura en estas regiones (Ahmed *et al.*, 2022). De acuerdo con índices recientes de escasez de agua, alrededor de 380 millones de hectáreas de cultivo han sido afectadas por sequías en las últimas décadas, y se proyecta un aumento adicional del 3 % en los próximos años (Liu *et al.*, 2022). Este escenario futuro estará marcado no solo por una menor disponibilidad de agua, sino también por mayores demandas hídricas de las plantas. En otras palabras, las condiciones para producir serán cada vez más retadoras, especialmente en zonas áridas. Por ello, debemos entender cómo las distintas variables meteorológicas modulan el desempeño de nuestros cultivos.

Existen ciertas variables ambientales que han recibido especial atención para determinar cómo el cambio climático impacta a la agricultura. En particular, presentamos la *tríada ambiental* que afecta a los cultivos: el calor, el aire seco y la baja humedad en los suelos (Figura 1). Cada uno de estos factores se ha estudiado de manera individual o conjunta para comprender su relevancia en la

producción agrícola del futuro. Se ha documentado que los eventos simultáneos de calor y sequía durante etapas críticas (como floración o fructificación) pueden reducir los rendimientos de cultivos básicos hasta en 30 %, además de afectar la salud de los trabajadores agrícolas, lo que añade un impacto adicional a los sistemas productivos (De Lima *et al.*, 2021; Lesk *et al.*, 2022; Heino *et al.*, 2023). Curiosamente, el incremento de temperaturas podría extender las temporadas de siembra en regiones frías, pero en contraste, causa una marcada reducción en la duración de las temporadas de siembra en regiones cálidas, donde se concentra gran parte de la agricultura mundial (Zhu *et al.*, 2022).

Por su parte, el aire cada vez más seco perjudica todo el funcionamiento de las plantas, causando estrés hídrico, reducciones en el crecimiento, menores tasas de fotosíntesis e incluso la muerte, lo que impacta directamente en el rendimiento (Novick *et al.*, 2024). La sequía (percibida como una precipitación anormalmente baja, suelos con poca humedad y atmósferas con muy baja humedad) continúa siendo uno de los fenómenos más relevantes en los contextos agrícolas. Se ha comprobado que la escasez de agua observada en muchas regiones agrícolas no solo responde a la variabilidad en las lluvias o al aumento de temperaturas, sino también puede ser causada por la propia expansión agrícola y la sobreexplotación de los recursos hídricos asociados a ella (Qi *et al.*, 2022). Además, la reducción de humedad en los suelos incrementa aún más la temperatura del aire y

genera atmósferas más secas dentro de los sistemas agrícolas, lo que coloca el estudio de la humedad como un foco central en los análisis climáticos y agrícolas próximos (Zepetello *et al.*, 2025).

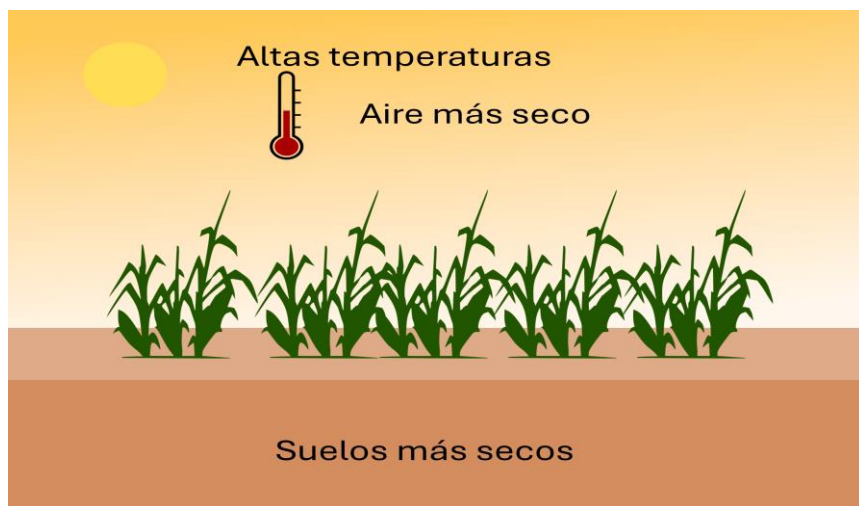


Figura 1. Representación de la tríada ambiental que afecta a los cultivos bajo escenarios de cambio climático: altas temperaturas, aire más seco y suelos con menor humedad.

Más que información para lamentarse, estos datos nos permiten dimensionar la magnitud con la que el cambio climático ya nos afecta y, a partir de ello, analizar con mayor claridad los posibles caminos. En México, necesitamos diseñar el manejo agronómico considerando estas afectaciones reportadas y proyectadas a futuro para actuar a tiempo y de la mejor forma posible. También debemos considerar un conjunto de estrategias de respuesta al cambio climático que nos permita diseñar manejos

integrales, combinando varias prácticas al mismo tiempo. Estas estrategias se construyen pensando en distintos escenarios futuros, pero debemos recordar que el sistema es dinámico y siempre pueden surgir sorpresas que exijan ajustes sobre la marcha. En otras palabras, debemos prepararnos para escenarios más exigentes si queremos reducir los daños al mínimo.

¿Cómo la agricultura puede ayudar a contrarrestar el cambio climático?

La agricultura ocupa 1.6 mil millones de hectáreas y emite aproximadamente 25 % de las emisiones antropogénicas totales de gases de efecto invernadero (Crippa *et al.*, 2021; FAO, 2023). Esta actividad ejerce una presión profunda sobre el medio ambiente, ya que no solo emite gases, sino que también degrada constantemente el suelo y el agua a medida que se expande la frontera agrícola. Está bien documentado que la deforestación para sustituir vegetación natural por cultivos altera de manera significativa el ciclo global del carbono al eliminar grandes reservorios en la biomasa y en los suelos (Li *et al.*, 2022). Sin embargo, debe ser una misión de todos cumplir la meta de reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero que los humanos estamos poniendo en la atmósfera, no solo para cumplir el Acuerdo de París, sino para evitar que la crisis climática alcance niveles catastróficos para nuestra existencia y la del planeta. Para esto, debemos replantear los sistemas productivos para que la agricultura pase de ser un causante de la crisis climática a tener un papel clave en la mitigación del cambio climático. En esta sección sintetizaremos algunos de los

avances de nuestro grupo de investigación para tratar de definir el potencial de mitigación del cambio climático de los campos agrícolas y así tratar de informar posibles estrategias de manejo para maximizar ese potencial.

Las plantas atrapan dióxido de carbono de la atmósfera por medio de la fotosíntesis. Este proceso metabólico permite a las plantas crecer, avanzar en sus etapas fenológicas y completar su ciclo productivo. No todo el CO₂ atrapado por fotosíntesis permanece en el cultivo. Parte de ese CO₂ atrapado se emite de regreso a la atmósfera debido al CO₂ liberado por la respiración de las plantas, microorganismos y animales que hay en los cultivos. Aunado a eso, otra parte del CO₂ capturado puede salir del cultivo en forma del producto cosechado que eventualmente también regresará a la atmósfera como CO₂. Otra parte más puede también emitirse de regreso a la atmósfera debido al manejo de los residuos de la cosecha, por ejemplo, si estos se queman o se descomponen. Así, los cultivos pudieran tener un potencial importante de capturar dióxido de carbono de la atmósfera y mantenerlo dentro de los tejidos vegetales o en formas estables en el suelo, contribuyendo así a mitigar el cambio climático (Zhang *et al.*, 2024). De esta manera, capturar más CO₂ en los campos agrícolas podría contribuir a frenar el aumento de CO₂ en la atmósfera y con ello frenar o mitigar el acelerado cambio climático que estamos enfrentando. Esta idea no solo abre la puerta a estrategias de mitigación del cambio climático, sino que también apunta hacia sistemas agrícolas más resilientes capaces de soportar las condiciones ambientales que se

intensificarán en el futuro. Iremos describiendo poco a poco por qué.

La captura de CO₂ en la agricultura tiene un enorme potencial, pero depende profundamente del manejo agronómico de cada cultivo (Ghimire *et al.*, 2024). Sabemos que el desempeño productivo está determinado tanto por la semilla utilizada (variedad/material genético) como por las condiciones ambientales que rodean al cultivo, como temperatura, humedad y radiación. Al mismo tiempo, las decisiones de manejo pueden transformar por completo el resultado de una temporada: cuándo y cuánto regamos, cómo labramos el suelo, qué prácticas culturales empleamos o cómo controlamos plagas, malezas y enfermedades (Barbosa *et al.*, 2024). Por ello, la cantidad de carbono capturado también está estrechamente vinculada a estas decisiones de manejo. Existen prácticas que, por su naturaleza, favorecen la pérdida de carbono del sistema, como la cosecha, la labranza, la remoción de residuos postcosecha o podas (Lehmann *et al.*, 2020; Guillen-Cruz *et al.*, 2022). En este sentido, es necesario comenzar a planear estrategias que consideren al carbono como un componente central del sistema agrícola y que busquen mantenerlo dentro de éste el mayor tiempo posible.

Hicimos una síntesis de varios sitios de monitoreo de flujos de CO₂ en cultivos mediante la técnica de Eddy Covariance, para tratar de darnos una idea informada de cómo pudiera ser el potencial de captura de CO₂ en los cultivos de garbanzo. Con base en estos datos provenientes de diversos cultivos alrededor del mundo, encontramos que las

herbáceas no gramíneas como el garbanzo tienen una captura promedio de 250 gramos de carbono por metro cuadrado al año, aunque esta cifra varía según el tipo de cultivo y en el tiempo. Esta cifra incluye principalmente el balance entre el CO₂ capturado por fotosíntesis y el emitido por respiración, pero no incluye otras pérdidas relacionadas al manejo. Esto equivale a unas 2.5 toneladas de carbono por hectárea por año. De esas 2.5 toneladas capturadas, una fracción necesariamente sale del sistema en forma del producto cosechado. Si una hectárea produce alrededor de 2 toneladas de grano por año y consideramos que la biomasa es aproximadamente 50 % carbono, entonces cerca de 1 tonelada de carbono abandona el sistema con la cosecha (Figura 2).

Esto deja un remanente de aproximadamente 1.5 toneladas de carbono que puede mantenerse dentro del sistema productivo mediante prácticas de conservación como la reincorporación de residuos vegetales, el compostaje o la labranza de conservación. Si bien, estos son estimados gruesos, nos dan una idea cuantitativa del potencial de captura de CO₂ por cultivos de garbanzo manejados para aprovechar esta captura. En Sonora, los cultivos de garbanzo cubren alrededor de 10 mil hectáreas cultivadas al año, lo cual, según nuestros estimados gruesos, pudieran lograr capturar cerca de 25 mil toneladas de carbono anuales.

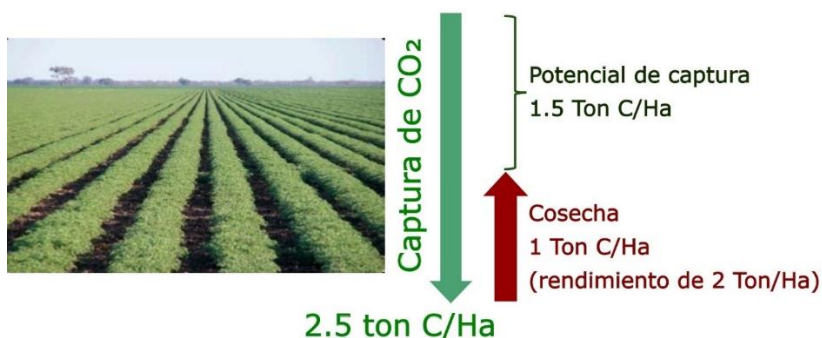


Figura 2. Esquema del balance de carbono en un cultivo de garbanzo.

En la figura 2 la flecha verde representa la captura total de carbono por hectárea durante el ciclo del cultivo estimada como el promedio típico del intercambio neto anual de CO₂ en cultivos de herbáceas no gramíneas, proveniente de síntesis de varios sitios de monitoreo en cultivos por medio de la técnica de Eddy Covariance. La flecha roja indica la fracción exportada mediante la cosecha estimada para un rendimiento de 2 toneladas/ha por año, asumiendo que 50 % de la biomasa corresponde a carbono. La diferencia entre ambas refleja el carbono potencial que puede permanecer en el sistema agrícola si se aplican prácticas adecuadas de manejo y conservación.

En México contamos con la capacidad necesaria para estudiar y comprender cómo nuestros sistemas agrícolas pueden incorporarse a estrategias de manejo de carbono como una vía de mitigación ante el cambio climático. Estas estrategias no solo buscarían responder a un futuro con crisis climática severa, sino que también pueden mejorar la

fertilidad del suelo al incrementar la retención de humedad y nutrientes, favorecer el desarrollo radicular y potenciar la diversidad microbiana mediante el aumento de materia orgánica. Todo ello se traduce en beneficios palpables para nuestros campos. Al mismo tiempo, es indispensable sistematizar métodos de monitoreo que sean prácticos y aplicables a los sistemas productivos actuales. Para ello, podemos apoyarnos en herramientas que ya han demostrado su eficacia, como los satélites y otras tecnologías de percepción remota que nos pudieran ayudar a extender la información de los sitios de monitoreo hacia prácticamente cualquier sitio cultivado.

Esta propuesta debe ir acompañada de un esfuerzo general para que todos los cultivos sean manejados bajo estas premisas y tecnologías orientadas a la captura de carbono. Además, es fundamental considerar las prácticas agronómicas adaptables que han sido reportadas para zonas vulnerables, especialmente las regiones áridas. Entre ellas destacan la rotación y mezcla de cultivos, el ajuste de fechas de siembra, el uso de variedades tolerantes a la sequía, la agricultura de conservación, la cosecha de agua de lluvia y la irrigación suplementaria (Al-Kilani, 2024). En conjunto, estas acciones podrían marcar el inicio de un reforzamiento de nuestros sistemas productivos y acercarnos a un sistema agroalimentario mexicano más resiliente frente al clima del futuro.

Literatura citada

- Ahmed M., Hayat R., Ahmad M., Ul-Hassan M., Kheir A. M. S., Ul-Hassan F., Ur-Rehman M. H., Shaheen F. A., Raza M. A. y Ahmad S. 2022. Impact of Climate Change on Dryland Agricultural Systems: A Review of Current Status, Potentials, and Further Work Need. *International Journal of Plant Production*. 16(3): 341–363. <https://doi.org/10.1007/s42106-022-00197-1>
- Al-Kilani M. R. 2024. Agricultural land measures for climate change adaptation in arid regions: Can the farmers do it alone? *Journal of Aridland Agriculture*. 10: 82–93. <https://doi.org/10.25081/jaa.2024.v10.7945>
- Barbosa J. P. R. A. D., Cruz A. B., Botelho A. D. S., Pennacchi J. P. y Santana G. F. 2024. Crop physiology, the technology and the production gap. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. 36(3): 567–582. <https://doi.org/10.1007/s40626-024-00338-z>
- De Lima C. Z., Buzan J. R., Moore F. C., Baldos U. L. C., Huber M. y Hertel T. W. 2021. Heat stress on agricultural workers exacerbates crop impacts of climate change. *Environmental Research Letters*. 16(4): 044020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abeb9f>
- FAO. 2023. Land Use Statistics and Indicators 2000–2021. FAOSTAT Analytical Briefs No. 71. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc6907en>
- Ghimire R., Aryal D. R., Hanan N. P., Boufous S., Burney O., Idowu O. J., Geli H. M. E., Hurd B. y Prihodko L. 2024. Carbon sequestration through sustainable land management practices in arid and semiarid regions: Insights from New Mexico. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 7(4): e70019 <https://doi.org/10.1002/agg2.70019>
- Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (GCMA). 2025. Fortuna y Poder: Producción agropecuaria cayó 2.1% en 2024, por sequía e inseguridad. GCMA. <https://gcma.com.mx/fortuna-y-poder-produccion-agropecuaria-cayo-2-1-en-2024-por-sequia-e-inseguridad/>
- Guillen-Cruz G., Torres-Arreola R., Sanchez-Mejia Z. y Flores-Renteria D. 2022. The effect of conventional and sustainable agricultural management practices on carbon and water fluxes in a Mexican semi-arid region. *PeerJ*. 10: e14542. <https://doi.org/10.7717/peerj.14542>

- Gutiérrez J. M., Jones R. G., Narisma G. T., Alves L. M., Amjad M., Gorodetskaya I. V., Grose M., Klutse N. A. B., Krakovska S., Li J., Martínez-Castro D., Mearns L. O., Mernild S. H., Ngo-Duc T., van den Hurk B. y Yoon J.-H. 2021. Atlas. En: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Masson-Delmotte V., Zhai P., et al. (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom y New York, NY, USA. p. 1927–2058. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.021>
- Heino M., Kinnunen P., Anderson W., Ray D. K., Puma M. J., Varis O., Siebert S. y Kummu M. 2023. Increased probability of hot and dry weather extremes during the growing season threatens global crop yields. *Scientific Reports*. 13: 3583. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29378-2>
- Hultgren A., Carleton T., Delgado M., Gergel D. R., Greenstone M., Houser T., Hsiang S., Jina A., Kopp R. E., Malevich S. B., McCusker K. E., Mayer T., Nath I., Rising J., Rode A. y Yuan J. 2025. Impacts of climate change on global agriculture accounting for adaptation. *Nature*. 642(8068): 644–652. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09085-w>
- IPCC. 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S. L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M. I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J. B. R., Maycock T. K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R. y Zhou B. (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom y New York, NY, USA. 2391 p. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Iturbide M., Fernández J., Gutiérrez J. M., et al. 2022. Implementation of FAIR principles in the IPCC: the WGI AR6 Atlas repository. *Scientific Data*. 9: 629. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01739-y>
- Lehmann J., Bossio D. A., Kögel-Knabner I. y Rillig M. C. 2020. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*. 1(10): 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>

- Lesk C., Anderson W., Rigden A., Coast O., Jägermeyr J., McDerimid S., Davis K. F. y Konar M. 2022. Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*. 3(12): 872–889. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00368-8>
- Li Y., Brando P. M., Morton D. C., Lawrence D. M., Yang H. y Randerson J. T. 2022. Deforestation-induced climate change reduces carbon storage in remaining tropical forests. *Nature Communications*. 13(1): 1964. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29601-0>
- Liu X., Liu W., Tang Q., Liu B., Wada Y. y Yang H. 2022. Global Agricultural Water Scarcity Assessment Incorporating Blue and Green Water Availability Under Future Climate Change. *Earth's Future*. 10(4): e2021EF002567. <https://doi.org/10.1029/2021ef002567>
- Lobell D. B. y Di Tommaso S. 2025. A half-century of climate change in major agricultural regions: Trends, impacts, and surprises. *PNAS*. 122(20): e2502789122. <https://doi.org/10.1073/pnas.2502789122>
- Novick K. A., Ficklin D. L., Grossiord C., Konings A. G., Martínez-Vilalta J., Sadok W., Trugman A. T., Williams A. P., Wright A. J., Abatzoglou J. T., Dannenberg M. P., Gentine P., Guan K., Johnston M. R., Lowman L. E. L., Moore D. J. P. y McDowell N. G. 2024. The impacts of rising vapour pressure deficit in natural and managed ecosystems. *Plant, Cell & Environment*. 47(9): 3561–3589. <https://doi.org/10.1111/pce.14846>
- Ortiz-Bobea A., Ault T. R., Carrillo C. M., Chambers R. G. y Lobell D. B. 2021. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change*. 11(4): 306–312. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1>
- Qi X., Feng K., Sun L., Zhao D., Huang X., Zhang D., Liu Z. y Baiocchi G. 2022. Rising agricultural water scarcity in China is driven by expansion of irrigated cropland in water scarce regions. *One Earth*. 5(10): 1139–1152. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.09.008>
- Ripple W. J., Wolf C., Mann M. E., Rockström J., Gregg J. W., Xu C., Wunderling N., Perkins-Kirkpatrick S. E., Schaeffer R., Broadgate W. J., Newsome T. M., Shuckburgh E. y Gleick P. H. 2025. The 2025 state of the climate report: a planet on the brink. *BioScience*. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaf149>

- Tubiello F. N., Karl K., Flammini A., Gütschow J., Obli-Laryea G., Conchedda G., Pan X., Qi S. Y., Heiðarsdóttir H. H., Wanner N., Quadrelli R., Souza L. R., Benoit P., Hayek M., Sandalow D., Contreras E. M., Rosenzweig C., Moncayo J. R., Conforti P. y Torero M. 2022. Pre- and post-production processes increasingly dominate greenhouse gas emissions from agri-food systems. *Earth System Science Data*. 14(4): 1795–1809. <https://doi.org/10.5194/essd-14-1795-2022>
- UNESCO. 2009. *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. Vol. 1. Earthscan, Paris/London.
- World Meteorological Organization (WMO). 2025. *State of the Global Climate 2024*. WMO-No. 1368. 37 p. ISBN: 978-92-63-11368-9
- Yuan X., Li S., Chen J., Yu H., Yang T., Wang C., Huang S., Chen H. y Ao X. 2024. Impacts of Global Climate Change on Agricultural Production: A Comprehensive Review. *Agronomy*. 14(7): 1360. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071360>
- Zepetello L. R. V., Proctor J. y Huybers P. 2025. Is Water Stress the Root Cause of the Observed Nonlinear Relationship Between Yield Losses and Temperature? *AGU Advances*. 6(4): e2025AV001704. <https://doi.org/10.1029/2025av001704>
- Zhang K., Liu Z., McCarl B. A. y Fei C. J. 2024. Enhancing Agricultural Soil Carbon Sequestration: A Review with Some Research Needs. *Climate*. 12(10): 151. <https://doi.org/10.3390/cli12100151>
- Zhu P., Burney J., Chang J., Jin Z., Mueller N. D., Xin Q., Xu J., Yu L., Makowski D. y Ciais P. 2022. Warming reduces global agricultural production by decreasing cropping frequency and yields. *Nature Climate Change*. 12(11): 1016–1023. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01492-5>

ASPECTOS AGRONÓMICOS Y DE CLIMA EN EL MANEJO DE LAS ENFERMEDADES DEL GARBANZO

Isidoro Padilla-Valenzuela^{1*}, Brenda Zulema Guerrero-Aguilar², José A. Ramírez Arredondo¹, Pedro Francisco Ortega-Murrieta³, Jorge A. Acosta Gallegos²

¹CE Norman Borlaug-INIFAP, ²CE Bajío-INIFAP; ³CE Costa de Hermosillo-INIFAP

*Autor para correspondencia: padilla.isidoro@inifap.gob.mx

Resumen

El garbanzo es una de las mejores opciones de producción por su bajo consumo de agua e importancia económica al ser un generador de divisas. Además del bajo requerimiento de agua, la rotación del garbanzo con trigo posee varias ventajas, entre las que destaca su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico. Los productores de garbanzo enfrentan el doble desafío de obtener rendimientos competitivos mientras aseguran su sostenibilidad. Para lograrlo, es fundamental la implementación de tecnologías que combinen el uso de variedades resistentes, fechas de siembra óptimas, manejo eficiente del agua y estrategias de control fitosanitario basadas en el monitoreo. La utilización de un manejo agronómico integral por los productores contribuye no sólo a maximizar rendimientos y la calidad del grano para el exigente mercado de exportación, sino también fortalecer la resiliencia del cultivo ante los desafíos impuestos por el cambio climático, asegurando así la viabilidad a largo plazo de este cultivo estratégico para la región.

Palabras clave: Monitoreo, resiliencia, cambio climático.

Introducción

El garbanzo *Cicer arietinum* L. es la segunda leguminosa de grano cultivada en importancia mundial, no solamente por su alto valor como cadena alimentaria; es considerado una fuente importante de proteínas para millones de personas en países en desarrollo y opción preferente para los vegetarianos en el mundo. Además, posee un alto contenido de proteínas, es rico en fibra, minerales (fósforo, calcio, magnesio, hierro y zinc), y su fracción de lípidos es rica en ácidos grasos no saturados. Por su capacidad de fijación simbiótica, nutre con nitrógeno al suelo y su grano es altamente digestible por los seres humanos y animales domésticos. En el período de 2020 a 2023 se cosecharon en promedio 65,502 hectáreas anuales de garbanzo en México con una producción de alrededor de 124,312 toneladas de grano (SIAP, 2023) que se destinó al mercado internacional.

El garbanzo es una de las mejores opciones de producción por su bajo consumo de agua e importancia económica al ser un generador de divisas. Además del bajo requerimiento de agua, la rotación del garbanzo con trigo posee varias ventajas, entre las que destaca su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico. Además, puede extraer los excedentes de nitratos de las capas más profundas del suelo por la gran capacidad de exploración de sus raíces.

Entre los factores bióticos que limitan la producción de garbanzo en el sur Sonora destacan las enfermedades del

suelo (*Fusarium oxysporum* y *F. Solani*) y del follaje (*Botrytis cinerea*, *Peronospora ciceri*, *Uromyces ciceri* y *Alternaria alternata*). La presencia de enfermedades foliares, principalmente moho gris, mildiu y roya, ocasionan lesiones y caída de flores y vainas, reduciendo significativamente el rendimiento. Además, la lluvia, la nubosidad, las temperaturas extremas y la baja fertilidad del suelo son factores abióticos que favorecen la presencia de enfermedades y que se han incrementado con el cambio climático (Chen *et al.*, 2011).

La producción de garbanzo es afectada por multifactores entre los que destaca la enfermedad de la raíz denominada “rabia” causada por hongos, especialmente del género *Fusarium*; *F. solani* induce síntomas de marchitez/amarillamiento del follaje en forma descendente lo que ocasiona una muerte lenta de las plantas infectadas y *F. oxysporum* f. sp. *ciceri* (FOC) que, dependiendo de la raza que esté infectando al cultivo, puede provocar marchitamiento gradual o bien marchitez de las plantas debido a que el daño lo provoca en los haces vasculares, induciendo finalmente la muerte de las plantas. En el presente trabajo se describen aspectos agronómicos y de clima sobre el cultivo del garbanzo.

Época de siembra

En el sur de Sonora, la evidencia experimental indica que el garbanzo se adapta en siembras del 15 de noviembre al 15 de diciembre en suelos de barrial y del 15 de diciembre al 15 de enero en aluvi3n (Figura 1).

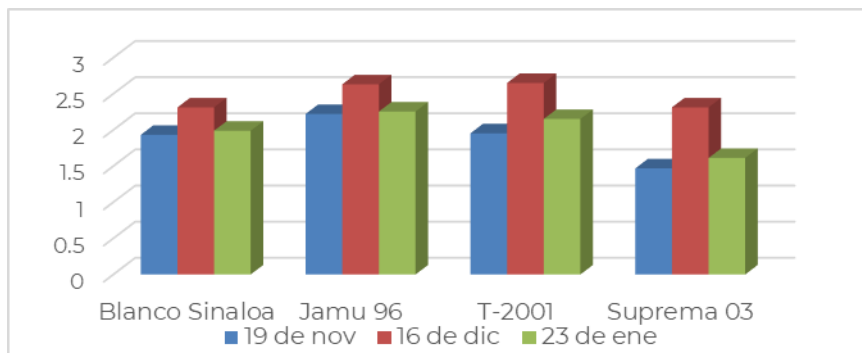


Figura 1. Rendimiento cribado (t/ha) del garbanzo a través de fechas de siembra en el sur de Sonora.

En suelos de barrial y en condiciones de riego, la mejor fecha de siembra comprende entre el 1° al 15 de diciembre y en aluvión del 20 de diciembre al 10 de enero. Por otro lado, el comportamiento de esta leguminosa depende de la precocidad de la variedad y de las condiciones de humedad y nubosidad prevalecientes en el transcurso del ciclo, de manera que puede variar el rendimiento de un ciclo a otro (Padilla *et al.* 2008). En siembras de noviembre si persisten condiciones de sequía, variedades como Blanoro, que es susceptible al minador de la hoja *Lyriomiza* sp., tienen el riesgo de un ataque temprano de esta plaga, y a daño por heladas que pueden ocurrir durante los meses de enero y febrero, época en donde la planta está en las etapas de inicio de formación de vainas y desarrollo del grano (Figura 2).

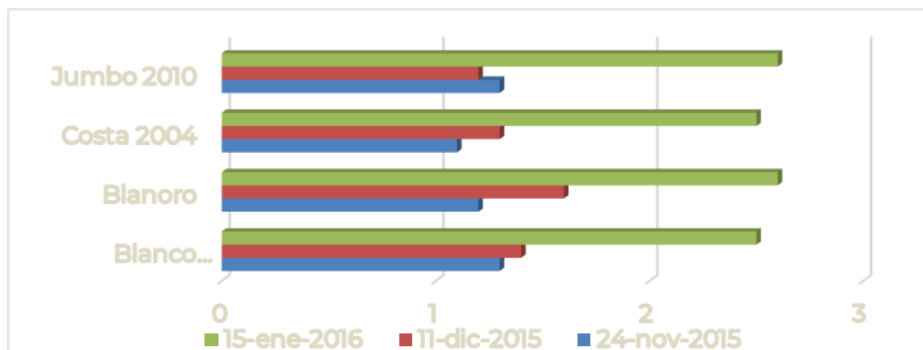


Figura 2. Rendimiento cribado (t/ha) en cuatro variedades de garbanzo a través de fechas de siembra en el sur de Sonora.

Las condiciones climáticas adversas ocasionadas por alta humedad ambiental, provocada por precipitaciones, así como los riegos de auxilio, o ambas, se traducen en aborto de flores y vainas que van desde el 7 hasta el 28 % (

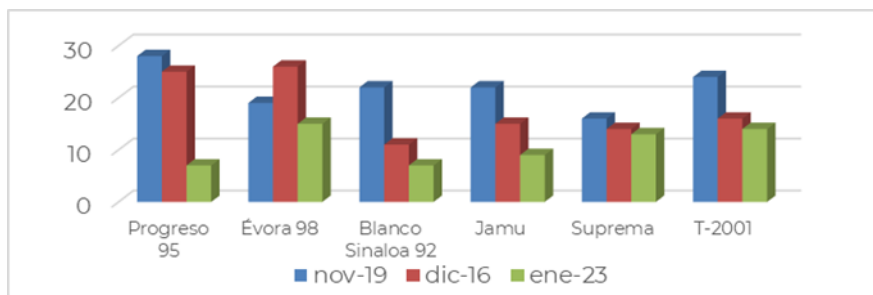


Figura 3). En el Valle del Mayo, Valenzuela (2004), encontró que las variedades de ciclo intermedio (Blanco Sinaloa 92) presentaron de 6.5 a 7.7 % de vainas abortivas, en comparación con 14.9 a 19.9 % que registraron las tardías (Évora 98). De acuerdo con Ramírez *et al.* (2012) y Padilla *et al.* (2012), lo anterior también puede ocasionar fuerte daño

al rendimiento y calidad del grano debido al ataque de mildiu y moho gris, con un impacto de 19 hasta 35 % en el rendimiento y de 7 a 16 % en calibre del grano.

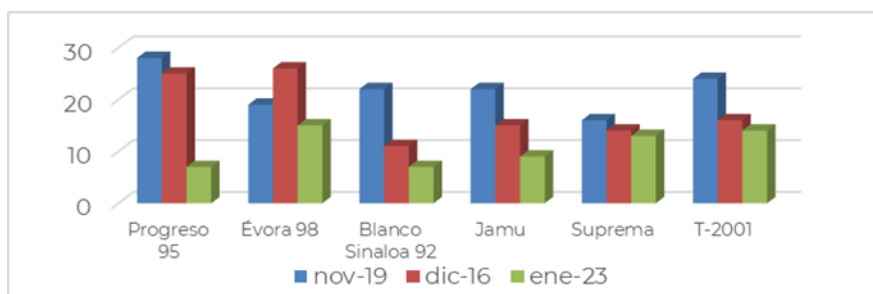


Figura 3. Efecto de la fecha de siembra en el porcentaje de aborto de garbanzo en el sur de Sonora.

Enfermedades

Las enfermedades del garbanzo son un factor limitante clave en la producción del sur de Sonora. Su incidencia y severidad dependen directamente de condiciones ambientales, manejo agronómico y la presencia de inóculo en el suelo. En esta sección se describen las principales enfermedades foliares y radicales de la región, junto con estrategias de manejo integrado.

Enfermedades foliares

En el Cuadro 1 se describen brevemente las principales enfermedades foliares, sus condiciones de desarrollo, síntomas y estrategias de manejo.

Cuadro 1. Principales enfermedades foliares del garbanzo condiciones ambientales para su desarrollo, síntomas y estrategias de manejo.

Enfermedad	Condiciones favorables	Síntomas principales	Estrategias clave de manejo
Mildiu veloso <i>Peronospora ciceris</i>	<ul style="list-style-type: none"> • HR >80% • 8-25°C • Nublados persistentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Polvillo grisáceo en envés • Manchas cloróticas en haz • Caída de foliolos 	<ul style="list-style-type: none"> • Fechas de siembra óptimas (dic-ene) • <i>Bacillus subtilis</i> (2L/ha) • Clorotalonil (preventivo)
Moho gris <i>Botrytis cinerea</i>	<ul style="list-style-type: none"> • HR >82% • 9-25°C • 3-4 días de humedad 	<ul style="list-style-type: none"> • Aborto floral • Micelio gris en vainas • Podredumbre 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidades de siembra adecuadas • <i>Streptomyces</i> spp. (750 g/ha) • Rotar Fluazinam/Iprodiona
Tizón foliar <i>Alternaria alternata</i>	<ul style="list-style-type: none"> • HR >80% • 9-23°C • Periodos húmedos 	<ul style="list-style-type: none"> • Manchas con anillos • Esporulación oscura • Defoliación 	<ul style="list-style-type: none"> • Semilla certificada • <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> • Azoxistrobina (250-300 mL/ha)
Roya <i>Uromyces ciceri-arietini</i>	<ul style="list-style-type: none"> • HR alta • 14-22°C • Siembras tardías 	<ul style="list-style-type: none"> • Pústulas rojizas • Liberación de esporas • Amarillamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Variedades tolerantes • Fechas óptimas • Triadimefon (500-750 g/ha)

Las enfermedades foliares del garbanzo son esporádicas en esta región sur de Sonora, porque están ligadas a las condiciones climáticas, como son: temperatura, humedad relativa, nubosidad y precipitación, que determinan la aparición y severidad de estos patógenos, ocasionando fuerte daño al follaje, tallos, flores y vainas (Rewal y Grewal, 1989; Salinas-Pérez *et al.*, 2008; Carrillo-Fasio *et al.*, 2012). En el Cuadro 2 se presentan datos mensuales de las variables climáticas registradas en la estación CIANO del Valle del Mayo, los cuales permiten correlacionar las condiciones ambientales con la epidemiología de las enfermedades en la región.

Cuadro 2. Datos mensuales de temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa y condiciones de nubosidad y neblina. Estación termo pluviométrica.

Año 2015	Tmx (°C)	Tm (°C)	Tpm (°C)	Pr (mm)	HRM (%)	ND Ni	ND Nu	ND MN
Dic	27.7	8.2	18.0	0.0	90	0	3	6
Ene	25.7	8.1	16.9	17.5	90	0	11	3
Feb	25.3	10.0	17.7	7	95	9	2	6
Mar	28.0	11.7	19.9	23.5	93	0	5	6
Abr	32.0	12.4	22.2	13.5	88	0	6	7
May	33.5	13.4	23.5	0.0	84	0	3	10

Datos tomados de la estación Climatológica CIANO-SEMAY. Tmx: Temperatura máxima. Tm: Temperatura mínima. Tpm: Temperatura promedio. Pr:

Precipitación. HRM: Humedad relativa máxima. NDNI: Número de días con niebla. NDNU: Número de días con nublado. NDMN: Número de días medio nublado.

En estudios realizados en la región, la epidemiología de las enfermedades foliares varía de acuerdo con el patógeno. Ramírez *et al.* (2017) reportan que el mildiu se desarrolla a partir de mediados de febrero con temperaturas de 10 a 25 °C, y humedad relativa promedio alrededor de 75 %, consignadas como favorables (Allende *et al.*, 2005; Carrillo-Fasio *et al.*, 2012). Por el contrario, para moho gris los primeros síntomas se presentan a mediados de marzo, con temperaturas de 8 a 25 °C, humedad relativa superior a 70 %, y presencia de precipitaciones ligeras, como se observa en el Cuadro 19, lo cual coincide con lo reportado por Rewal y Grewal (1989).

La incidencia y el impacto de las enfermedades foliares en el cultivo de garbanzo están influenciados significativamente por la fecha de siembra. En el Cuadro 3 se muestra el efecto de dos fechas de siembra sobre la incidencia de moho gris y mildiu, así como el porcentaje de aborto de vainas en diferentes variedades, evidenciando cómo el manejo del tiempo de siembra puede ser una estrategia clave para reducir el daño por estos patógenos.

Cuadro 3. Incidencia de enfermedades foliares y aborto del garbanzo en dos fechas de siembra en el sur se Sonora.

Variedades	Moho gris*			Mildiu*			Aborto (%)		
	F1	F2	Red (%)	F1	F2	% DIF	F1	F2	Red (%)
JUMBO 2010	4.0	2.5	37.5	4.0	0.75	81.3	26	12	53.8
COSTA 2004	5.0	3.0	40.0	4.5	1.00	77.8	30	13	56.7
BLANORO	5.5	3.0	45.5	5.5	1.25	77.3	20	1	95.0
BLANCO									
SINALOA 92	6.0	3.0	50.5	6.5	1.50	76.9	22	18	18.2

*Escala de 0 a 9 donde 0= Sin daño; 9 = > 90% de daño. F1: 24/11/15. F2: 15/01/16. Red: Reducción.

Enfermedades radiculares

Las pudriciones radiculares representan uno de los factores limitantes más severos para la producción de garbanzo en el sur de Sonora ya que son conformadas por un complejo de patógenos del suelo de difícil control. La correcta identificación de cada patógeno es fundamental para implementar estrategias de manejo específicas. En el Cuadro 4 se presenta los principales agentes causales, sus síntomas distintivos y las estrategias de control recomendadas.

Cuadro 4. Enfermedades, organismos causales síntomas y estrategias para su control en el cultivo de garbanzo.

Enfermedad/Patógeno	Síntomas en Planta	Síntomas en Raíz	Estrategias Clave de manejo
Fusariosis <i>Fusarium spp.</i>	<ul style="list-style-type: none"> · Marchitez progresiva · Amarillamiento ascendente · Muerte lenta de plantas 	<ul style="list-style-type: none"> · Lesiones necróticas · Decoloración vascular · Estrangulamiento del cuello 	<ul style="list-style-type: none"> · Variedades resistentes (Blanoro, Combo-743) · <i>Trichoderma spp.</i> · Tiofanato metílico + Piraclostrobina
Podredumbre carbonosa <i>Macrophomina phaseolina</i>	<ul style="list-style-type: none"> · Follaje seco y pajizo · Plantas erguidas muertas · Marchitez repentina 	<ul style="list-style-type: none"> · Pudrición raíz principal · Microesclerocios gris-negro · Raíces quebradizas 	<ul style="list-style-type: none"> · Evitar estrés hídrico · Solarización · Fluopiram (0.4-0.6 L/ha)
Marchitez por <i>Rhizoctonia R. solani</i>	<ul style="list-style-type: none"> · Clorosis y necrosis · Marchitamiento · Plantas enanas 	<ul style="list-style-type: none"> · Lesión café oscuro en tallo · Podredumbre radical · Cancros en cuello 	<ul style="list-style-type: none"> · Rotación con sorgo/cártamo · Pencycuron (1.5-2.0 L/ha) · Azoxistrobina en drench
Moho blanco <i>Sclerotium rolfsii</i>	<ul style="list-style-type: none"> · Caída de peciolos · Amarillamiento foliar · Colapso total 	<ul style="list-style-type: none"> · Micelio blanco algodonoso · Esclerocios en base tallo · Ahorcamiento plántulas 	<ul style="list-style-type: none"> · Eliminar residuos · Evitar exceso humedad · Profundidad siembra adecuada

Manejo integrado

El uso de semilla certificada con resistencia a las enfermedades fúngicas de raíz es la forma más económica de enfrentar los daños de estos patógenos. Optar por fechas

que eviten estrés por calor (diciembre-enero) (Padilla *et al.*, 2018), los riegos deben ser ligeros, evitar saturación y promover riegos ligeros y frecuentes (Ortiz *et al.*, 2020). Es recomendable usar variedades resistentes a enfermedades: Blanoro, Combo-743, Mazocahui, Sinalomex, BlancoSon etc., con tolerancia a fusariosis (Ortega *et al.*, 2019) y por último, mantener monitoreo continuo para evaluar incidencia cada 15 días desde emergencia hasta llenado del grano.

Manejo integrado por nivel de riesgo de inóculo

La implementación de estrategias diferenciadas según la carga de patógenos en el suelo es fundamental para el manejo eficiente de las enfermedades radicales.

En el Cuadro 5 se describe un sistema de clasificación por niveles de riesgo al cultivo y las acciones recomendadas para cada caso, adaptado de metodologías validadas en cultivos hortícolas (González-Guevara *et al.*, 2019) y ajustado para las condiciones específicas del garbanzo en el sur de Sonora.

Cuadro 5. Niveles de inóculo (UFC/g) y riesgo de daño en el cultivo del garbanzo.

Nivel de Riesgo	Estrategia Principal	Acciones Específicas	Frecuencia/Momento
Bajo <500	Prevención y monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> • Rotación con gramíneas • Uso de variedades resistentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Anual (rotación) • Cada siembra (variedad)
Intermedio 500-1000	Manejo biológico intensivo	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Trichoderma</i> en semilla (2-3 kg/ha) • Aplicación suelo: <i>Bacillus</i> + <i>Pseudomonas</i> • Fertilización orgánica (5-10 ton/ha) 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento de semilla • Cada 21 días • Presiembra
Alto 1000	Estrategia integral + químico	<ul style="list-style-type: none"> • Biosolarización (4-6 semanas verano) • <i>Trichoderma</i> intestivo (5-6 kg/ha presiembra) • Químico específico según patógeno 	<ul style="list-style-type: none"> • Anual (verano) • Presiembra + cada 15 días • Según diagnóstico específico

Nematodos

La asociación entre nematodos (*Pratylenchus* spp. y *Meloidogyne* sp.) y los patógenos radiculares representa un enorme reto para el manejo eficiente de la enfermedad. El daño directo por nematodos puede reducir entre 14 a 50 % del rendimiento; pero su mayor impacto radica en que

aumenta la susceptibilidad a infecciones por *F. oxysporum* (Castillo *et al.*, 2008).

En el sur de Sonora se registró por primera vez a *P. thornei* asociado a ambas especies de *Fusarium*. En estudios locales se determinaron poblaciones de 1,820 a 2, 890 individuos/100 g de suelo de *P. thornei*, combinadas con 600 a 1600 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) /g de suelo de *Fusarium oxysporum* y *F. solani*, que redujeron en 48 % el rendimiento y el calibre del grano en 11.3 % (Padilla *et al.* 2019a; Padilla *et al.* 2019b), coincidiendo con reportes de la India (Chen *et al.*, 2011).

Estrategias de manejo integrado

Las medidas para reducir la incidencia y el daño de nematodos son la rotación de cultivos no hospederos como cártamo y sorgo, así como la solarización y desinfección de equipos de labranza, que son cruciales para prevenir la diseminación.

Control químico: Como último recurso el uso de nematicidas (Perry y Ploeg, 2010). La fumigación con D-D, o Telone (200 a 300 l/ha) ejerce buen control sobre los nematodos y ayuda a incrementar el rendimiento en suelos infestados (Greco, 2007). Aunque su alto costo, y toxicidad para la salud humana y para el ambiente limitan su uso. En cultivos de invierno de sur de Sonora, particularmente el trigo (*Triticum aestivum* L.), es un excelente hospedero de *P. thornei* ya que durante su ciclo ocurren las temperaturas óptimas para el desarrollo y multiplicación del nematodo. En riego por goteo se sugiere Verango en dosis de 500

ml/ha. En presiembra puede utilizarse Clorpirifos en dosis 1.5 l/ha y Raizal a razón de 1 kg/ha. A los 10 días de la emergencia el Metomilo (1.0 kg/ha + 1 kg/ha de Raizal) presentan buen control en condiciones de riego por goteo.

Conclusiones

El garbanzo es una de las mejores opciones de producción por su bajo consumo de agua e importancia económica al ser un generador de divisas. Además del bajo requerimiento de agua, la rotación con garbanzo posee varias ventajas, entre las que destaca su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico. Además, puede extraer los excedentes de nitratos de las capas más profundas del suelo por la gran capacidad de exploración de sus raíces.

Los productores enfrentan el doble desafío de obtener rendimientos competitivos mientras aseguran la sostenibilidad del cultivo. Para lograrlo, es fundamental la integración de tecnologías que combinen el uso de variedades mejoradas resistentes, fechas de siembra óptimas, manejo eficiente del agua y estrategias de control fitosanitario basadas en el monitoreo. La utilización de un manejo agronómico integral por los productores contribuye no sólo a maximizar rendimientos y la calidad del grano para el exigente mercado de exportación, sino también a fortalecer la resiliencia del cultivo ante los desafíos impuestos por el cambio climático, asegurando así la viabilidad a largo plazo de este cultivo estratégico para la región.

Literatura citada

- Allende, M. R., Carrillo F. J. A., Márquez Z. I., García E. R. S. 2010. Alternativas para el control del mildiu de garbanzo. Memoria VII Jornada de transferencia de tecnología del cultivo del garbanzo. Fundación Produce Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México, pp. 37-40.
- Carrillo F., J. A., Allende M., R., y García E., R. 2012. Métodos preventivos para el control de la rabia y mildiu del garbanzo. Memoria VIII Jornada del cultivo del garbanzo. Fundación Produce Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México, pp. 43-49.
- Chen W., H. C. Sharma and F. J. Muehlbauer. 2011. Compendium of Chickpea and Lentil Diseases and Pests. The American Phytopathological Society. S. Paul Minn. USA, 164 p.
- González-Guevara, R., Pons-Hernández, J. L. y González-Chavira, M. M. 2019. Manual práctico para el cultivo de chile bajo condiciones de invernadero. Primera edición. INIFAP-Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. 156 p. ISBN: 978-607-37-1456-2
- Greco N. 2007. Nematodes and their control in chickpea. In: The Chickpea. (Saxena M. C. and K. B. Singh. Eds.). The International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. C*A*B International. Walling Ford Oxon, UK, pp. 271-281.
- Ortega, M., P. F., G. A. Fierros L., I. Padilla V., J. A. Acosta G., V. Valenzuela H., E. Gutierrez P., F. G. Rodríguez P., B. Z. Guerrero A., S. Velarde F. 2019. Mazocahui: Nueva variedad de garbanzo blanco para México. INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Costa de Hermosillo. Folleto Técnico No. 48, 24 p.
- Padilla V. I., Valenzuela V., I. Armenta C., C. M., Salinas P., R. A. y E. Sánchez S. 2008. Comportamiento Agronómico de genotipos de garbanzo en siembra tardía en el Valle del Mayo. Rev. Fitotec. Méx. Vol. 31 (1):43-49.
- Padilla V., I. Ortega M., P. F., Fierros L., G. A., Salinas P., R. A. y C. M. Armenta C. 2012. Caracterización agronómica de líneas y variedades de garbanzo *Cicer arietinum* L. en condiciones de riego en el Valle del Mayo, Sonora. Memorias del XIV Congreso Internacional/XXXIX Nacional de Fitopatología. 22-26 de julio de 2012, Nuevo Vallarta, Nayarit. Pág. 210.
- Padilla V., I., B. Z. Guerrero A., C. M. Melgoza V., G. A. Fierros L., P. F. Ortega M., J. M. Ávila S., J. A. Gallegos, J. E. Ortiz E. y V. Valenzuela H.

- 2019a. Presencia de *Fusarium* spp. y *Pratylenchus thornei* en garbanzo blanco bajo riego. Memoria XXII Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, BC, pp. 558-562.
- Padilla V. I., B. Z. Guerrero A., C. M. Melgoza V., G. A. Fierros L., P. F. Ortega M., J. M. Ávila S., J. A. Acosta G., J. E. Ortiz E. y V. Valenzuela H. 2019b. Influencia del método de riego, presencia de *Fusarium* spp y el nematodo *Pratylenchus thornei* en el rendimiento y calidad de garbanzo blanco. I Reunión de Investigación en Garbanzo. Memoria No 1. INIFAP-Campo Experimental Todos Santos-Sitio Experimental Valle del Santo Domingo. Cd. Constitución. Baja California Sur, pp. 20-25.
- Perry E. J. and A. T. Ploeg. 2010. Nematodes: Integrated pest management for home gardener and Landscape professional. Pest Notes. University of California. Publication 7489. USA. 5 p.
- Ramírez A., J. A., Padilla V., I. y N. Castillo T. 2012. Control Químico de enfermedades foliares del garbanzo en el sur de Sonora. Memorias del Día del Agricultor: Dr. Alejandro Ortega Corona. Campo Experimental Norman E. Borlaug. Publicación Especial No. 19, pp. 37-38.
- Ramírez, A. J. A., Padilla, V. I., y Castillo, T. N. 2017 Control químico de las enfermedades foliares del garbanzo en el sur de Sonora. Folleto Técnico N° 103. CENEB-INIFAP. 24 p.
- Rewal N. and J.S. Grewal. 1989. Effect of temperatures, light and relative humidity on conidial germination of three strains of *Botrytis cinerea* infecting Chickpea. Indian Pathology 42:79-83.
- Salinas P., R., Cortez-Moncada, E., y Macías-Cervantes, J. 2008. Guía para producir garbanzo en el norte de Sinaloa. Folleto técnico no. 29. CEVAF-INIFAP. 44 p.
- SIAP, 2023. Datos estadísticos del Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera.

GARBANZO DE ALTA CALIDAD A TRAVÉS DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO

**Milagros Ramírez-Soto ^{1*}, Carlos Iván Cota-Barreras ¹,
Pedro Francisco Ortega-Murrieta ², Claudia María
Melgoza-Villagómez ³, Jorge Alberto Acosta-Gallegos⁴,
Brenda Zulema Guerrero-Aguilar⁴**

¹Campo Experimental Valle de Culiacán, Culiacán, Sin. ²Campo Experimental Costa de Hermosillo, Hermosillo, Son, ³Campo Experimental Todos Santos. La Paz, B. C. S., ⁴Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto. ramirez.milagros@inifap.gob.mx

Resumen

El mejoramiento genético del garbanzo en México ha evolucionado en respuesta a los retos productivos, climáticos y fitosanitarios que limitan el rendimiento y la competitividad del cultivo. El objetivo de este documento es integrar los avances científicos del Programa de Mejoramiento Genético del Garbanzo (PMGG) del INIFAP con los mecanismos de transferencia de tecnología que han permitido la validación y adopción de nuevas variedades en sistemas de producción comercial. Se presenta una recapitulación de los enfoques metodológicos aplicados en su mejoramiento, incluyendo selección masal e individual alternada, así como pruebas de resistencia a patógenos y los resultados obtenidos en el desarrollo de variedades. Asimismo, se resalta la integración de acciones de transferencia tecnológica, tales como eventos demostrativos, capacitación a Prestadores de Servicios Profesionales (PSP) y el establecimiento de parcelas de

validación, piezas clave para acelerar la adopción de nuevas variedades. En conjunto, los avances reportados fortalecen la competitividad del sector garbancero en México y sientan bases para estrategias futuras que articulen innovación genética, vinculación con productores y difusión tecnológica.

Palabras clave: Mejora Genética, Variedades, Garbanzo

Introducción

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) tipo Kabuli en México tiene importancia agroindustrial y comercial, con superficies anuales de 80,000 a 120,000 ha y rendimientos promedio de 1.4 a 1.8 t ha⁻¹ (SIAP, 2024). La región Noroeste, especialmente Sinaloa, Sonora y Baja California Sur, domina la producción orientada a exportación, mientras que el Bajío atiende nichos internos. El cultivo enfrenta desafíos crecientes asociados al cambio climático, estreses bióticos y abióticos y mayores exigencias del mercado. Enfermedades como la marchitez vascular por *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* y la pudrición de raíz por *Fusarium solani* pueden reducir hasta en un 80 % el rendimiento (Jiménez-Díaz *et al.*, 2015; Sharma *et al.*, 2019). También existe una mayor demanda de variedades tolerantes a calor y sequía, necesidad intensificada por escenarios climáticos proyectados hacia 2050. Ante este contexto, el mejoramiento genético es fundamental para incrementar resiliencia y competitividad. En México, el PMGG del INIFAP ha desarrollado variedades orientadas a rendimiento, calidad e inocuidad, fortaleciendo la cadena productiva del garbanzo. Este documento integra los fundamentos del

mejoramiento, avances alcanzados y mecanismos de transferencia tecnológica.

Metodologías de mejoramiento genético aplicadas al garbanzo.

El mejoramiento genético del garbanzo se ha basado principalmente en métodos convencionales orientados a incrementar el rendimiento, mejorar la calidad del grano y fortalecer la tolerancia a estreses bióticos y abióticos. En México, PMGG del INIFAP ha implementado estrategias clásicas de selección y cruzamientos dirigidos, y en los últimos años ha comenzado a incorporar herramientas moleculares de apoyo, en concordancia con las tendencias internacionales en fitomejoramiento (Singh *et al.*, 2022).

Selección masal.

La selección masal es uno de los métodos más antiguos y utilizados en el mejoramiento de autógamias como el garbanzo. Consiste en seleccionar plantas individuales con características deseables dentro de poblaciones heterogéneas y mezclar sus semillas para generar la siguiente generación. Este método permite incrementar la frecuencia de alelos favorables relacionados con adaptación, sanidad y calidad del grano en un periodo relativamente corto (Acquaah, 2012). En el PMGG del INIFAP, la selección masal se ha utilizado para depurar poblaciones avanzadas y asegurar uniformidad fenotípica bajo condiciones representativas de ambientes objetivo.

Selección familiar.

La selección familiar se basa en la evaluación y comparación de familias derivadas de plantas seleccionadas. Este enfoque permite estimar el valor genético aditivo y mejorar la precisión en la selección, especialmente para caracteres de baja heredabilidad o con fuerte interacción genotipo \times ambiente (Hallauer *et al.*, 2010). Dentro del PMGG se han utilizado familias F_3 a F_5 para evaluar atributos de rendimiento, tamaño de semilla, sanidad de planta y tolerancia al estrés hídrico.

Selección estratificada.

La selección estratificada permite mantener representatividad genética y reducir la deriva durante la selección dentro de poblaciones o líneas experimentales, al estratificar el lote en subunidades con características agroambientales homogéneas antes de la selección (Allard, 1999). Su uso en garbanzo ha sido relevante en regiones del Noroeste de México, donde la variabilidad de suelo y microambientes dentro de las parcelas puede influir en la expresión fenotípica. Este método ha permitido identificar genotipos con estabilidad de rendimiento y atributos comerciales.

Hibridación dirigida.

La hibridación dirigida constituye una etapa clave para generar variabilidad genética mediante el cruzamiento controlado de parentales con atributos complementarios (Kumar & Abbo, 2001). En garbanzo, esta técnica busca combinar características como tamaño de grano, calidad tipo Kabuli, rendimiento, tolerancia a *Fusarium* spp. y

adaptación a sequía. En el INIFAP, la hibridación dirigida ha sido empleada para desarrollar líneas avanzadas con perfiles agronómicos y comerciales acordes a mercados de exportación y condiciones del Noroeste mexicano.

Resultados y discusión

El PMGG en México ha sido fundamental para a los sistemas productivos nacionales e internacionales. Respondiendo a desafíos agroclimáticos y comerciales, integrando enfoques genéticos, fisiológicos y biotecnológicos. Ha generado avances significativos en la mejora del garbanzo contribuyendo al fortalecimiento de la competitividad del cultivo mediante el desarrollo de materiales con mayor rendimiento, calidad comercial y tolerancia a factores bióticos y abióticos. Esta sección presenta los progresos científicos más relevantes y su impacto en la producción nacional (Figura 1).

Mejoras en calidad del grano tipo Kabuli.

Se han obtenido genotipos con mayor tamaño de semilla, color crema uniforme y mejores atributos culinarios para el mercado de exportación (SNICS, 2024). Blanco Sinaloa-92 continúa como referencia nacional por su calidad comercial.

Incremento en productividad bajo condiciones de temporal y riego.

Las nuevas líneas y variedades muestran rendimientos superiores al testigo comercial en múltiples ambientes, contribuyendo a un mejor desempeño agronómico en zonas productoras.

Avances en tolerancia a enfermedades de raíz.

El PMGG ha fortalecido la tolerancia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* y *F. solani*. Las líneas avanzadas expresan distintos niveles de tolerancia según raza y condiciones agroclimáticas, incrementando la resiliencia del cultivo (Velarde-Félix et al., 2015; Guerrero-Aguilar et al., 2015).

Integración progresiva de herramientas complementarias.

El programa avanza en la incorporación de selección asistida por marcadores moleculares, con el fin de mejorar la precisión en rasgos vinculados con sanidad y calidad del grano, siguiendo tendencias globales de fitomejoramiento (Melgoza-Villagómez et al., 2022).

Estos avances han permitido consolidar variedades genéticas con atributos orientados a la producción comercial, con mejor estabilidad fenotípica y desempeño agronómico en ambientes representativos del país (SNICS, 2024).



Figura 1. Proceso de mejoramiento genético en garbanzo

Conclusiones

El mejoramiento genético del garbanzo en México ha evolucionado de manera consistente para responder a los retos productivos, fitosanitarios y comerciales que enfrenta el cultivo. Los avances logrados por el INIFAP han permitido desarrollar variedades con mayor rendimiento, calidad de grano tipo Kabuli y tolerancia a enfermedades de raíz, contribuyendo a mejorar la estabilidad y competitividad del cultivo en las principales regiones productoras del país. La incorporación de nuevas variedades con atributos superiores representa una oportunidad estratégica para incrementar la productividad y competitividad del sector garbancero. Para que estos beneficios se materialicen en campo, es fundamental promover el uso de semilla básica y semilla de calidad certificada, garantizando la expresión del potencial genético de los nuevos materiales. Para consolidar los beneficios alcanzados, es necesario fortalecer la articulación entre investigación, transferencia tecnológica y productores. Se recomienda ampliar la validación regional de nuevas líneas avanzadas, incrementar la formación de técnicos y PSP especializados, y promover modelos participativos que integren la retroalimentación del sector productivo en las etapas de selección y validación varietal. Asimismo, el establecimiento de mecanismos eficientes para la disponibilidad, producción y distribución de semilla básica y certificada favorecerá la rápida adopción de variedades innovadoras. Estas acciones permitirán acelerar el uso de tecnologías mejoradas, incrementar la resiliencia del cultivo ante escenarios de variabilidad climática y consolidar la competitividad del garbanzo mexicano en mercados nacionales e internacionales.

Literatura citada

- Acquaah, G. (2012). Principles of Plant Genetics and Breeding (2ª ed.). Wiley-Blackwell.
- Allard, R. W. (1999). *Principles of plant breeding*. John Wiley & Sons.
- Hallauer, A. R., Carena, M. J., & Miranda Filho, J. D. (2010). Quantitative genetics in maize breeding (Vol. 6). Springer Science & Business Media.
- Jiménez-Díaz, R. M., Castillo, P., Jiménez-Gasco, M. M., Landa, B. B., & Navas-Cortés, J. A. (2015). Fusarium wilt of chickpeas: Biology, ecology and management. *Crop Protection*, 73, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.018>
- Kumar, J. & Abbo, S. (2001). Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments. En: *Advances in Agronomy*, 72, 107–138.
- Sharma, M., Ghosh, R., Tarafdar, A., Rathore, A., Chobe, D., Kumar, A., Gaur, P. M., Samineni, S., Gupta, O., Singh, N. P., Saxena, D.-R., Saifulla, M., Pithia, M., Ghante, P., Mahalinga, D., Upadhyay, J. B., & Harer, P. (2019). Exploring the genetic cipher of chickpea (*Cicer arietinum* L.) through identification and multi-environment validation of resistant sources against Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, Article 78. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00078>
- Singh, M., Kumar, T., Sood, S., Malhotra, N., Rani, U., Singh, S. & Kumar, S. (2022). Identification of promising chickpea interspecific derivatives for agro-morphological and major biotic traits. *Frontiers in Plant Science*, 13, 941372. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.941372>
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). (2024). *Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) — versión 2024 (PDF)*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural / Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/992919/CNVV_2024-FINAL.pdf (Consultado el 13 de noviembre de 2025).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). *Datos de producción de garbanzo — portal SIAP*.

- <https://nube.agricultura.gob.mx/agroprograma/> (Consultado el 13 de noviembre de 2025). nube.agricultura.gob.mx
- Velarde-Félix, S. V., (2015). *Identificación molecular y biológica de las razas 0 y 5 de Fusarium oxysporum f. sp. ciceris (Padwick) Matuo & K. Sato del garbanzo en el noroeste de México*. Revista (Ciencias Agrícolas / INIFAP). Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342015000400006&script=sci_arttext (Consultado el 13 de noviembre de 2025).
- Guerrero-Aguilar, B. Z., Acosta-Gallegos, J. A., Sánchez-García, B. M., Ortega-Murrieta, P. F., & González-Chavira, M. M. (2015). *Razas patogénicas de Fusarium oxysporum f. sp. ciceris en garbanzo cultivado en Guanajuato, México*. Revista Fitotecnia Mexicana, 38(2), 183–191. Recuperado de <https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/> (Consultado el 13 de noviembre de 2025). revfitotecnia.mx
- Melgoza-Villagómez, C. M., Gutierrez-Perez, E., Ávalos-Castro, R., Fierros-Leyva, G. A., Ortega-Murrieta, P.F., y Chávez-Ibarra, O. (2022). *Evaluación de la dureza y tiempo de cocción de variedades de garbanzo: Memoria del X Simposio Nacional de Garbanzo (2022)*. Memoria Simposio Nacional de Garbanzo (pp. 68–71). Recuperado de <https://eventosagrodesonora.mx/wp-content/uploads/2023/09/X-MEMORIA-SIMPOSIO-NACIONAL-DE-GARBANZO-2022.pdf> (Consultado el 13 de noviembre de 2025).

EFECTO DEL ESTRÉS POR ALTAS TEMPERATURAS EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GARBANZO

Claudia María Melgoza-Villagómez^{1*}, Raúl Ávalos-Castro¹, Pedro Francisco Ortega-Murrieta², Jorge Alberto Acosta-Gallegos³, Isidoro Padilla-Valenzuela⁴

¹Campo Experimental Todos Santos. INIFAP. La Paz, B. C. S.,

²Campo Experimental Costa de Hermosillo, Hermosillo, ³Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto., ⁴Campo Experimental Norman E. Borlaug, Cd. Obregón

Resumen

A nivel mundial se han registrado periodos prolongados de altas temperaturas, condición que va en aumento debido al cambio climático y que podría presentarse con mayor frecuencia e intensidad en zonas áridas y semiáridas donde se produce garbanzo por lo cual se considera como factor limitante que influye en el rendimiento. El objetivo del presente fue evaluar el efecto del estrés por altas temperaturas en el rendimiento y calidad de garbanzo kabuli con la finalidad de determinar los genotipos más estables en rendimiento y con mejor calidad de grano de exportación. En el ciclo OI 2024-2025 se evaluaron siete genotipos de garbanzo blanco en dos fechas de siembra, en condiciones sin estrés y con estrés térmico. Las variables evaluadas fueron rendimiento de origen, rendimiento de exportación o cribado, grano de tamaño >9 mm, porcentaje de grano de exportación y calibre (número de granos en 30 g de garbanzo). Además, se evaluó la tolerancia al estrés por planta de cada genotipo durante los ciclos OI 2023-24 y

2024-25 con base en los índices de tolerancia a estrés térmico que indican mayor productividad (STI), estabilidad del rendimiento (YSI), menor proporción de susceptibilidad a estrés (SSPI), diferencia del rendimiento con y sin estrés (TOL) y la media del rendimiento (GMP). El estrés por altas temperaturas durante el ciclo OI 2024-2025 no afectó significativamente los rendimientos de origen y de exportación por genotipo. La mayoría mantuvo el rendimiento superior a 3 t ha^{-1} , con excepción de HOGA 2008-7-6 en condiciones de estrés. Los índices de tolerancia al estrés térmico indican que Calisur y HOGA 2010-23-7 son los genotipos más productivos y con mayor rendimiento promedio en ambos ciclos. Las líneas avanzadas HOGA 2006-23-7 y HOGA 2006-40-8 destacan por su estabilidad de rendimiento, aunque presentan menor calibre.

Palabras clave: *Índices de tolerancia, calibre de grano, estrés térmico*

Introducción

El garbanzo se cultiva principalmente en zonas áridas y semiáridas de más de 50 países de la cuenca mediterránea, Asia central, África oriental, Europa, Australia y América, donde es vulnerable a estreses abióticos como la sequía y el calor (Maphosa *et al.*, 2020). Esta leguminosa es sensible al estrés por calor en etapa reproductiva, lo que provoca disminución de la floración, aborto de flores y falta de formación de vainas; por lo tanto, es un factor limitante para el rendimiento (Naveed *et al.*, 2025). En etapa reproductiva las temperaturas medias de 20-28 °C permiten buen

desarrollo del cultivo (Devasirvatham *et al.*, 2013) y las temperaturas medias >32 °C provocan anomalías en órganos reproductivos que causan la caída de las flores, esterilidad del polen, aborto de las cápsulas y pérdidas en el rendimiento (Jha *et al.*, 2021). En garbanzo *desi* se han reportado pérdidas de hasta el 34.7 % del rendimiento en condiciones de estrés térmico (Jha *et al.*, 2025). En este estudio se evaluó el efecto del estrés por altas temperaturas en el rendimiento y calidad de garbanzo *kabuli* con la finalidad de determinar los genotipos más estables en rendimiento y con mejor calidad de grano de exportación.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en instalaciones del INIFAP en el Sitio Experimental Valle de Santo Domingo, localizado en las coordenadas 25.007129, -111.662544. Se establecieron siete genotipos de garbanzo blanco en dos fechas de siembra; el 23 de diciembre en ambiente óptimo (OP) y fecha tardía el 03 de marzo en ambiente con estrés térmico (ET). Las siembras se realizaron en seco, sobre surcos separados a 80 cm. El diseño utilizado fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las parcelas experimentales se formaron de cuatro surcos de 4 m de longitud, como parcela útil se consideraron 3 m de largo de los dos surcos centrales (4.8 m²). El régimen de riego fue por goteo. Se fertilizó con 90 unidades de N y 25 de P, utilizando como fuentes UAN 32 y ácido fosfórico. Enseguida del riego de germinación se aplicó por aspersion el herbicida oxifluorfen a dosis de 0.5 L ha⁻¹. Las variables evaluadas en el ensayo de tolerancia a estrés por altas temperaturas para el

ciclo OI 2024-2025 fueron rendimiento de origen (RO), rendimiento de exportación o cribado (RC), grano de tamaño >9 mm, porcentaje de grano de exportación (%EXP) y calibre (número de granos en 30 g de garbanzo).

Los índices de tolerancia estrés térmico se evaluaron en ocho plantas de cada genotipo durante los ciclos de producción OI 2023-2024 y OI 2024-2025; se calcularon los rendimientos de grano por planta sin estrés (Y_p) y con estrés por altas temperaturas (Y_s) y se determinó el Índice de tolerancia: $(TOL) = Y_p/Y_s$ (Rosielle y Hamblin, 1981), índice del porcentaje de susceptibilidad a estrés $(SSPI) = [(Y_p - Y_s)/2X_p] * 100$ (Mousavi *et al.*, 2008), índice de tolerancia al estrés $(STI) = (Y_p * Y_s) / X_p^2$ (Fernández *et al.*, 1992), media geométrica de la productividad $(GMP) = \sqrt{Y_p * Y_s}$ (Fernández *et al.*, 1992) y el Índice de estabilidad de rendimiento $(YSI) = Y_s/Y_p$ (Bousslama and Schapaugh, 1984), donde X_p es la media del rendimiento de todos los genotipos sin estrés. El efecto del estrés por altas temperaturas en el rendimiento y calidad del garbanzo se analizó por comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$) de los genotipos en ambiente óptimo y de estrés por altas temperaturas durante el ciclo OI 2024-2025. Los análisis se realizaron con el programa JMP® Versión 19 (SAS Institute Inc., 2024).

Resultados y discusión

El efecto del estrés por altas temperaturas en los rendimientos de origen y de exportación por genotipo no evidenció diferencia significativa durante el ciclo OI 2024-

2025. Sin embargo, todos los genotipos presentaron rendimiento de origen (RO) superior a las 3 t ha⁻¹ en ambos ambientes (con y sin estrés), a excepción de la línea avanzada HOGA 2008 7-6 que presentó RO de 2.76 t ha⁻¹ en estrés térmico. En RO destacan la variedad Calisur con rendimiento de 4.06 y 4.26 t ha⁻¹ y la línea avanzada HOGA 2006 40-8 con rendimiento de 3.91 y 3.75 t ha⁻¹ en ambientes de estrés y óptimo, respectivamente. En el RC destacan la variedad Calisur con 3.50 y 3.69 t ha⁻¹ y la línea avanzada HOGA 2010-23-7 con 3.43 y 3.02 t ha⁻¹ en ambientes con y sin estrés, respectivamente. En cuanto al porcentaje de grano de exportación la variedad Seri y la línea avanzada HOGA 2006-40-8 presentaron diferencia significativa en condiciones de estrés con 92 % y 73.2 % de grano de exportación, respectivamente. Destacando las variedades Seri y Calisur con la mayor proporción de grano de exportación. En el calibre de grano se observó diferencia significativa entre ambiente con y sin estrés por genotipo, destacando las variedades Seri y Calisur con calibres 4X y 3X, respectivamente. En garbanzo desi evaluado en condiciones de estrés térmico se ha observado la reducción del rendimiento hasta en 34.7 % en comparación con las condiciones sin estrés (Jha et al., 2025).

Cuadro 1. Efecto del estrés térmico sobre el rendimiento y calibre de grano de siete genotipos de garbanzo evaluados durante el ciclo OI 2024-2025.

Genotipo	Amb	RO (t ha ⁻¹)	RC (t ha ⁻¹)	%EXP	Calibre				
Calisur	ET	4.06	a	3.50	a	86.3	ab	43	bcd
Calisur	OP	4.26	a	3.69	a	86.9	ab	41	cd
CUGA 09-2031	ET	3.54	a	3.02	a	84.9	ab	45	abcd
CUGA 09-2031	OP	3.50	a	2.97	a	84.8	ab	43	bcd
Culiacán 2	ET	3.22	a	2.51	a	78.1	ab	47	ab
Culiacán 2	OP	3.48	a	3.21	a	92.0	ab	40	d
HOGA 2006-40-8	ET	3.91	a	2.90	a	73.2	b	50	a
HOGA 2006-40-8	OP	3.75	a	3.01	a	80.6	ab	45	abcd
HOGA 2008-7-6	ET	2.76	a	2.19	a	79.5	ab	49	a
HOGA 2008-7-6	OP	3.60	a	3.15	a	87.3	ab	45	abc
HOGA 2010-23-7	ET	4.15	a	3.43	a	81.1	ab	48	a
HOGA 2010-23-7	OP	3.57	a	3.02	a	84.7	ab	47	ab
Seri	ET	3.10	a	2.88	a	92.6	a	40	d
Seri	OP	3.44	a	3.09	a	90.0	ab	41	cd

Amb: Ambiente; OP: Ambiente en fecha de siembra óptima; ET: Ambiente en fecha de siembra con estrés térmico; RO: Rendimiento de origen; RC: Rendimiento cribado; %EXP: Porcentaje de grano de exportación; Calibre, calibre de grano calculado como el número de granos en 30 g. Los valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales, Tukey ($p \leq 0.05$).

Los índices de tolerancia al estrés térmico basados en el rendimiento por planta durante los ciclos OI 2023-24 y OI 2024-25, indican que los genotipos de mayor productividad

(*STI*) en ambos ciclos fueron Calisur y HOGA 2010-23-7. Los genotipos que mantuvieron la estabilidad del rendimiento (*YSI*) fueron las líneas avanzadas HOGA 2006 23-7 y HOGA 2006-40-8.

Los genotipos que presentaron menor proporción de susceptibilidad a estrés (*SSPI*) fueron HOGA 2006-40-8 en ambos ciclos, HOGA 2010-23-7 y HOGA 2008-7-6 en el ciclo 2023-2024 y HOGA 2006-40-8, Seri y Calisur en el ciclo 2023-2024.

En cuanto a la diferencia del rendimiento (*TOL*) destacaron los genotipos HOGA 2006-40-8 en ambos ciclos, HOGA 2010 23-7 en 2023-2024 y HOGA 2006-4-8, Seri y Calisur en 2024-2025. En cuanto al rendimiento promedio (*GMP*) destacan Calisur y HOGA 2010 23-7 en ambos ciclos.

Cuadro 2. Índices de tolerancia al estrés térmico basados en el rendimiento por planta de siete genotipos de garbanzo en los ciclos OI 2023-24 y OI 2024-25.

Genotipo	STI		YSI		SSPI		TOL		GMP	
	2023-2024	2024-2025	2023-2024	2024-2025	2023-2024	2024-2025	2023-2024	2024-2025	2023-2024	2024-2025
Calisur	1.27	0.56	0.39	0.53	54.78	23.72	46.03	25.33	47.34	39.77
CUGA 09-2031	1.09	0.37	0.73	0.34	16.73	33.93	14.05	36.23	43.84	32.39
CULIACAN 2	0.38	0.35	0.61	0.45	15.28	24.64	12.84	26.30	25.77	31.60
HOGA 2006-40-8	0.35	0.48	0.66	0.58	12.63	18.88	10.61	20.15	24.96	37.03
HOGA 2008-7-6	0.33	0.33	0.61	0.34	14.45	32.25	12.14	34.43	24.05	30.75
HOGA 2010-23-7	0.90	0.99	1.00	0.58	0.16	27.38	0.13	29.23	39.87	53.22
Seri	0.64	0.48	0.51	0.57	27.85	19.51	23.40	20.83	33.67	37.05

TOL: Índice de tolerancia a estrés térmico; SSPI: índice del porcentaje de susceptibilidad a estrés; STI: índice de tolerancia al estrés; GMP: Media geométrica de la productividad y YSI: Índice de estabilidad de rendimiento.

Conclusiones

La mayoría de los genotipos mantuvo el rendimiento superior a 3 t ha^{-1} , con excepción de HOGA 2008-7-6 en condiciones de estrés, Calisur y las líneas HOGA 2006-40-8 y HOGA 2010-23-7 destacaron por mantener la estabilidad y altos rendimientos en ambos ambientes.

Las variedades Seri y Calisur destacan por mantener buen rendimiento y calidad de grano tanto en condiciones

óptimas como en estrés térmico. Los índices de tolerancia al estrés térmico.

Los indican que Calisur y HOGA 2010-23-7 son los genotipos más productivos y con mayor rendimiento promedio en ambos ciclos.

Las líneas avanzadas HOGA 2006-23-7 y HOGA 2006-40-8 destacan por su estabilidad de rendimiento, aunque presentan los menores calibres.

Literatura citada

- Bousslama, M., and Schapaugh, W. T. Jr. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933–937.
- Devasirvatham V., P.M. Gaur, N. Mallikarjuna, T.N. Raju, R.M. Trethowan y Tan D.K. 2013. Reproductive biology of chickpea response to heat stress in the field is associated with the performance in controlled environments. *Field Crops Res.* 142 9–19. 10.1016/j.fcr.2012.11.011
- Fernández, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In C. G. Kuo (Ed.), *Adaptation of food crops to temperature and water stress* (pp. 257–270). Shanhuah, Taiwan: Asian Vegetable Research and Development Center.
- Jha U.C., R. Jha, V. Thakro, A. Kumar, S. Gupta y Nayyar H. 2021. Discerning molecular diversity and association mapping for phenological, physiological and yield traits under high temperature stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *J. Genet.* 100 1–15. 10.1007/s12041-020-01254-2
- Jha, U. C., Nath, C. P., Paul, P. J., Nayyar, H., Kumar, N., Dixit, G. P., Sen, S., Kumar, Y., & Prasad, P.V. V. (2025). Decoding the heat stress resilience in Chickpea (*Cicer arietinum* L.): multi-trait analysis for genotypic adaptation. *Scientific reports*, 15(1), 25055. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07573-7>
- Maphosa, L., Richards, M. F., Norton, S. L., & Nguyen, G. N. (2020). Breeding for abiotic stress adaptation in chickpea (*Cicer arietinum* L.): A comprehensive review. *Crop Breeding, Genetics and Genomics* 2 (4): e200015.
- Mousavi, S.S., S.B. Yazdi, M.R. Naghavi, A.A., Zali, H., Dashti y Pourshahbazi A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes.
- Naveed, M., Aslam, M., Ahmed, S. R., Tan, D. K. Y., De Mastro, F., Tariq, M. S., Sakhawat, A., Asad, M. A., & Liu, Y. (2025). An overview of heat stress in Chickpea (*Cicer arietinum* L.): effects, mechanisms and diverse molecular breeding approaches for enhancing resilience and productivity. *Molecular breeding: new strategies in plant improvement*, 45(2), 18. <https://doi.org/10.1007/s11032-025-01538-4>
- Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21(6), 943–946.
- SAS Institute Inc. 2025. Discovering JMP 19® Versión de prueba. Cary, NC: SAS Institute Inc.

LÍNEAS ÉLITE DE GARBANZO RESILIENTES A ESTRÉS HÍDRICO Y ENFERMEDADES DE LA RAÍZ

Pedro F. Ortega-Murrieta¹, Adriana I. Pérez-Luna¹, Isidoro Padilla- Valenzuela², Brenda Z. Guerrero-Aguilar³, Claudia M. Melgoza-Villagómez⁴, Milagros Ramírez-Soto⁵.

¹Campo Exp. Costa de Hermosillo. INIFAP. Hermosillo, Sonora.

²Campo Exp. Norman E. Borlaug, Cd. Obregón, Sonora. ³Campo Exp. Bajío, Celaya, Guanajuato. ⁴Campo Exp. Todos Santos, La Paz, B.C.S. ⁵Campo Experimental Valle de Culiacán, Culiacán, Sinaloa. ortega.pedro@inifap.gob.mx

Resumen

Se evaluaron a nivel experimental y comercial líneas élite y variedades de garbanzo en terrenos infestados con el hongo *Fusarium* spp. que causa reducción del rendimiento de grano en garbanzo hasta del 80%. También se evaluaron en condiciones de déficit de humedad para detectar tolerancia a la falta de agua. En la evaluación en terrenos con problemas de altas poblaciones de *Fusarium*, se detectaron varios genotipos y variedades tolerantes a esta enfermedad, entre las que se cuentan Mazocahui, HOGA 2006-59-9, HOGA 2007-2-14, BlancoSon, HOGA 2008-5-2, Seri, Combo-743, HOGA 2006-40-12, con alto rendimiento y calibre grande y extra grande para exportación. En la evaluación de genotipos de garbanzo con déficit de humedad en el suelo, comparado con el riego normal, sobresalieron por su alto rendimiento de grano cribado Seri, HOGA 2010-23-7, HOGA 2006-40-8 y Calisur con 3,216, 2,922,

3,068 y 2,883 kg ha⁻¹, e IER (índice de eficiencia relativa) de 1.37, 1.22, 1.22 y 1.19, respectivamente, que indica una eficiencia alta en el uso del agua de riego. Los genotipos que presentaron la menor reducción de rendimiento cribado en riego reducido comparado con el riego normal fueron HOGA 2006-40-8, Calisur, HOGA 2008-5-2 y CUGA 09-3160 con 26, 26, 19 y 26 % de reducción. Estos genotipos presentaron los valores más bajos de ISS (índice de susceptibilidad a sequía) y cercanos a cero que los posiciona como los más tolerantes a sequía. Este índice es un criterio aceptable para seleccionar genotipos que reducen menos su rendimiento al someterlos a estrés por humedad, aunque puedan no ser los más rendidores. En el programa de Mejoramiento Genético de garbanzo del INIFAP se cuenta con material genético con tolerancia a *Fusarium* spp. y tolerancia al déficit moderado de humedad en el suelo.

Palabras clave: *Riego restringido, Fusarium, calibre de grano.*

Introducción

Una de las principales fuentes de energía y de proteína en el mundo son las leguminosas, entre ellas el garbanzo, que ocupa un lugar muy preponderante en la alimentación humana. En México, el garbanzo blanco de grano grande y rugoso tipo 'kabuli' se produce principalmente en condiciones de riego, en el noroeste de México, en su mayoría para exportación hacia el Medio Oriente. Este cultivo se ha adaptado a las condiciones climáticas del noroeste de México, y debido a su eficiencia en el uso del

agua, es un cultivo adecuado para estas regiones donde el agua es escasa y de muy alto costo. La principal limitante, al igual que en otras regiones productoras de garbanzo, son las enfermedades de la raíz causadas principalmente por *Fusarium*, y la manera más económica y factible de combatir estas enfermedades es mediante la resistencia genética, en combinación con prácticas culturales que reduzcan las poblaciones de estos hongos en el suelo. La superficie de siembra promedio cosechada en el noroeste de México en los últimos cinco años (2020-2024) fue de 73,924 ha, con rendimiento promedio de 1.95 t ha⁻¹, y con una producción de 144,544 toneladas anuales (SIAP, 2024) con un valor de la producción de aproximadamente 2,818 millones de pesos. Dentro de las limitantes agronómicas de la producción del garbanzo en el noroeste de México están las enfermedades foliares y de la raíz (Fierros *et al.*, 2012), destacando las enfermedades de raíz causadas principalmente por el género *Fusarium*, (Saxena, 1984). El objetivo es dar a conocer los últimos avances en las investigaciones referente a la evaluación de nuevos genotipos y variedades con tolerancia a enfermedades de la raíz causada por *Fusarium* spp y tolerantes a déficit de humedad en el suelo.

Materiales y Métodos

Durante el ciclo otoño-invierno 2025 se evaluaron variedades de garbanzo liberadas recientemente por el programa de Mejoramiento Genético de Garbanzo del INIFAP y varias líneas, en lotes experimentales y de validación en la Costa de Hermosillo, Sonora con

productores cooperantes y en terrenos del Campo Experimental Costa de Hermosillo del INIFAP. También se han evaluado genotipos de garbanzo para conocer su comportamiento en condiciones de riego restringido con reducción de la lámina de riego durante todo el ciclo. Se reportan los resultados de rendimiento, calibre de grano (número de granos en 30 g) y porcentaje de grano exportable al pasarlo por una malla con perforaciones de 9 mm. En la Costa de Hermosillo, todos los terrenos donde se establecieron los ensayos y validaciones de genotipos presentaron infestación del hongo *Fusarium* spp. y en la mayoría de ellos se presentó el nematodo de la lesión *Pratylenchus thornei*.

Las evaluaciones experimentales fueron establecidas en diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. En las validaciones de las variedades con productores se utilizaron extensiones de terreno de aproximadamente 100 m². Los campos de la Costa de Hermosillo donde se realizaron estas evaluaciones en el ciclo 2025 se anotan en el Cuadro 1, así como la incidencia de *Fusarium* medida en Unidades Formadoras de Colonia (UFC) por gramo de suelo, y el nematodo de la lesión en número de adultos por 100 g de suelo.

Se evaluaron, además, líneas élite y variedades de garbanzo al efecto de la sequía en el rendimiento de grano que se estimó con el índice de susceptibilidad a la sequía (ISS), con la media geométrica (MG) y con el índice de eficiencia relativa (IER).

El ISS de cada genotipo se calculó con la ecuación propuesta por Fischer y Maurer (1978): $ISS_i = 1 - (Y_i/Y_{c_i}) / IIS$, donde: Y_i = promedio de rendimiento de cada genotipo en riego restringido (RR); Y_{c_i} = promedio de rendimiento de cada genotipo en riego normal (RN). El índice de intensidad a la sequía (IIS), se obtuvo mediante la fórmula: $IIS = 1 - (Y_i/Y_c)$, en la que Y_i = promedio de rendimiento en el tratamiento de RR y Y_c = promedio de rendimiento en RN. La MG propuesta por Samper y Adams (1985) se calculó con la ecuación: $MG = (Y_i * Y_{c_i})^{1/2}$, donde MG_i = media geométrica de cada genotipo; y Y_i y Y_{c_i} = rendimiento de cada genotipo en RN y RR, respectivamente. El IER descrito por Graham (1984) se calculó mediante la ecuación: $IER = (Y_i/Y_i) (Y_{c_i}/Y_c)$, donde IER_i = índice de eficiencia relativa de cada genotipo; Y_i = rendimiento del genotipo i sin aplicación de riego a partir de inicio de floración (RR); Y_i = rendimiento promedio con suspensión de riego a partir de inicio de floración (RR); Y_{c_i} = rendimiento del genotipo i con riego durante el ciclo del cultivo (RN); y Y_c = rendimiento promedio con riego durante el ciclo del cultivo (RN).

Cuadro 1. Características de los campos donde se realizaron evaluaciones de genotipos de garbanzo en cuanto a presencia de enfermedades

Campo/año		<i>Fusarium solani</i> (UFC /g suelo)	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Pratylenchus thornei</i> (Adultos/100 g suelo)
La Esperanza 2025		1,733	533	-
Casa Blanca	2025	1,200	1,000	-
Campo Experimental 2025		1,933	800	118

Se tomaron muestras de diferentes tamaños para estimar el rendimiento de grano, se calculó el rendimiento de origen y el rendimiento cribado se obtuvo pasando una muestra por una criba con perforaciones de 9 mm de diámetro; asimismo, se midió el calibre de grano contando el número de semillas en 30 g. Se reporta además el rendimiento de las variedades por los diferentes calibres de producción, considerando cribas con perforaciones de 12, 11, 10, 9 y 8 mm de diámetro. Los efectos de la infección por *Fusarium* se reportan en índices (CIAT, 1987) donde 1 = no presencia de la enfermedad y 9 = muerte de al menos 75 % de las plantas. Se realizó el análisis estadístico utilizando la versión de prueba de JMP de SAS®.

Resultados y discusión

Parcelas de validación. Durante el ciclo 2025, se establecieron parcelas de validación en campos comerciales para conocer la adaptabilidad de las líneas élite del Programa de Mejoramiento Genético de Garbanzo.

En el Campo La Esperanza se evaluaron 11 genotipos que incluyen cinco variedades comerciales, los rendimientos más altos se obtuvieron con Mazocahui, HOGA 2006-59-9, HOGA 2007-2-14 y BlancoSon con 4,711, 4,166, 4,126 y 4,105 kg ha⁻¹, respectivamente. Sobresalen por su alto porcentaje de producción de calibre alto los genotipos HOGA 2007-2-14 y HOGA 2006-59-9 con el 45 y 24 % del total de la producción con calibre de 31 y 33 granos en 30 g que son denominados 9X y 8X, respectivamente (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 2. Rendimiento total (kg ha⁻¹) y rendimiento al usar diferentes cribas y calibre de grano (granos/30g) en genotipos de garbanzo en Campo La Esperanza. Ciclo 2025

Genotipos	Rend. total	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹) y calibre de grano por criba							
		Criba 12 mm	Cal. de grano †	Criba 11 mm	Cal. de grano	Criba 10 mm	Cal. de grano	Criba 9 mm	Cal. de grano
Mazocahui	4,711	436	36	3,154	42	697	52	372	65
HOGA 2006-59-9	4,166	1,004	33	2,494	39	440	51	209	65
HOGA 2007-2-14	4,126	1,869	31	1,896	39	227	51	113	67
BlancoSon	4,105	415	35	2,617	41	606	52	413	66
HOGA 2008-5-2	3,973	276	35	2,316	41	805	51	540	65
Blanco Sin.-92	3,937	315	32	1,961	41	996	52	622	64
Seri	3,767	458	36	2,581	42	441	53	258	67
Combo-743	3,626	455	34	2,159	40	558	51	393	65
HOGA 2006-40-12	2,960	386	35	1,929	41	400	51	225	66
HOGA 2007-2-5	2,917	452	33	1,743	40	401	51	299	67
CUGA-09-3096	2,649	168	36	1,760	43	465	54	233	68

†, Cal. Calibre de grano= número de granos en 30 g.

Sobresalen también los genotipos Mazocahui, HOGA 2006-59-9, BlancoSon, Seri, Combo-743, HOGA 2006-40-12 y HOGA 2007-2-5 porque su porcentaje de producción está entre 60 y 70 % de calibres 39 a 42 que corresponde a 5X y 4X (Cuadro 3). Los calibres grandes se comercializan

normalmente con valor más alto que los calibres medianos y chicos.

Cuadro 3. Rendimiento total (kg ha⁻¹), porcentaje de rendimiento al usar diferentes cribas y calibre de grano (grano/30g) en genotipos de garbanzo en Campo. La Esperanza. Ciclo 2025.

Genotipos	Rend. total	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹) y calibre de grano por criba							
		Criba 12 mm	Cal. de grano†	Criba 11 mm	Cal. de grano	Criba 10 mm	Cal. de grano	Criba 9 mm	Cal. de grano
Mazocahui	4,711	436	36	3,154	42	697	52	372	65
HOGA 2006-59-9	4,166	1,004	33	2,494	39	440	51	209	65
HOGA 2007-2-14	4,126	1,869	31	1,896	39	227	51	113	67
BlancoSon	4,105	415	35	2,617	41	606	52	413	66
HOGA 2008-5-2	3,973	276	35	2,316	41	805	51	540	65
Blanco Sin.-92	3,937	315	32	1,961	41	996	52	622	64
Seri	3,767	458	36	2,581	42	441	53	258	67
Combo-743	3,626	455	34	2,159	40	558	51	393	65
HOGA 2006-40-12	2,960	386	35	1,929	41	400	51	225	66
HOGA 2007-2-5	2,917	452	33	1,743	40	401	51	299	67
CUGA-09-3096	2,649	168	36	1,760	43	465	54	233	68

†, Cal. Calibre de grano= número de granos en 30 g.

En el Campo Casa Blanca se estableció una validación de genotipos de garbanzo donde se incluyeron variedades comerciales y líneas élite. Sobresalen por su rendimiento total de grano los genotipos BlancoSon, Blanco Sinaloa-92, Mazocahui, HOGA 2006-59-9, HOGA 2008-5-15 y Combo 743 con 4,467, 4,033, 3,737, 3,727, 3,683 y 3,633 kg ha⁻¹, respectivamente. También sobresalen los genotipos HOGA 2008-6-20, HOGA 2006-59-9 y HOGA 2007-2-14 por tener 32,

16 y 17 % de grano extra grande con calibre de 7X y 8X (Cuadros 4 y 5).

En cuanto a rendimiento con calibre grande (4X y 5X), los genotipos BlancoSon, Combo 743, HOGA 2006-59-9 y HOGA 2007-2-5 presentaron los más altos rendimientos con 2,356, 2,155, 2,042 y 2,019 kg ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 5).

Cuadro 4. Rendimiento total (kg ha⁻¹) y rendimiento al usar diferentes cribas y calibre de grano en genotipos de garbanzo en Campo Casa Blanca. Ciclo 2025.

Genotipos	Rendimiento total	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹) y calibre de grano por criba							
		Criba 12 mm	Calibre de grano	Criba 11 mm	Calibre de grano	Criba 10 mm	Calibre de grano	Criba 9 mm	Calibre de grano
BlancoSon	4,467	136	36	2,356	43	1,315	52	623	63
Blanco Sin-92	4,033	135	35	1,579	43	1,230	52	994	64
Mazocahui	3,737	71	38	1,887	43	1,087	51	626	63
HOGA 2006-59-9	3,727	609	35	2,042	41	585	51	430	64
HOGA 2008-5-15	3,683	171	38	1,820	44	956	52	681	64
Combo 743	3,633	345	35	2,155	41	718	49	380	63
CUGA 09-3096	3,313	20	41	896	45	1,276	52	1,002	67
HOGA 2008-7-6	3,227	252	36	1,484	42	823	52	602	63
HOGA 2007-2-5	3,200	398	33	2,109	39	398	51	264	66
HOGA 2007-2-14	3,087	525	33	1,895	39	412	50	233	61
HOGA 2008-5-2	2,867	36	36	1,003	43	909	51	830	63
Seri	2,787	170	38	1,570	45	573	55	407	68
HOGA 2008-6-20	2,680	852	33	1,315	40	310	51	174	67
HOGA 2006-40-12	2,467	158	35	1,281	41	623	50	366	62
Sinalomex-2018	2,133	34	37	474	45	545	56	890	73

Cuadro 5. Rendimiento total (kg ha⁻¹), porcentaje de rendimiento al usar diferentes cribas y calibre de grano en genotipos de garbanzo en Campo Casa Blanca. Ciclo 2025.

Genotipos	Rendimiento total kg ha ⁻¹	Porcentaje del rendimiento total de grano y calibre de grano por criba							
		Criba 12 mm (%)	Calibre de grano	Criba 11 mm (%)	Calibre de grano	Criba 10 mm (%)	Calibre de grano	Criba 9 mm (%)	Calibre de grano
BlancoSon	4,467	3	36	53	43	29	52	14	63
Blanco Sin-92	4,033	3	35	39	43	31	52	25	64
Mazocahui	3,737	2	38	51	43	29	51	17	63
HOGA 2006-59-9	3,727	16	35	55	41	16	51	12	64
HOGA 2008-5-15	3,683	5	38	49	44	26	52	19	64
Combo 743	3,633	10	35	59	41	20	49	10	63
CUGA 09-3096	3,313	1	41	27	45	39	52	30	67
HOGA 2008-7-6	3,227	8	36	46	42	26	52	19	63
HOGA 2007-2-5	3,200	12	33	66	39	12	51	8	66
HOGA 2007-2-14	3,087	17	33	61	39	13	50	8	61
HOGA 2008-5-2	2,867	1	36	35	43	32	51	29	63
Seri	2,787	6	38	56	45	21	55	15	68
HOGA 2008-6-20	2,680	32	33	49	40	12	51	7	67
HOGA 2006-40-12	2,467	6	35	52	41	25	50	15	62
Sinalomex-2018	2,133	2	37	22	45	26	56	42	73

Durante el ciclo 2024-2025 se estableció una evaluación de genotipos en terreno con antecedentes de infección por *Fusarium* spp en el Campo Experimental Costa de Hermosillo del INIFAP. Las poblaciones detectadas mediante análisis de laboratorio en el área de evaluación fueron de 1,467 Unidades Formadoras de Colonia (UFC) de las cuales 1,067 fueron de *F. solani* y 400 de *F. oxysporum*. Se estableció en camas a 1.6 m de separación y doble hilera de siembra a 0.40 m entre ellas, en sistema de riego por goteo. Se sembró el 25 de enero 2025.

Hubo alta significancia estadística ($p > 0.99$) en los datos de rendimiento de grano de origen y cribado, así como en el calibre de grano de origen y cribado y el porcentaje de grano cribado de los genotipos evaluados. La presencia de *Fusarium* fue determinante para la productividad de los genotipos. El rendimiento de grano de origen y cribado estuvieron altamente correlacionadas negativamente con la lectura del índice de *Fusarium* ($p = -0.89$ y -0.88) respectivamente, donde los valores bajos indican baja incidencia de la enfermedad (Cuadro 6). Los resultados de rendimiento de grano de campo indicaron que los genotipos más rendidores fueron HOGA 2010-23-7 y HOGA 2010-31-12 con rendimiento de origen de 2,930 y 2,643 kg ha⁻¹ respectivamente y rendimiento cribado de 2,665 y 2,341 kg ha⁻¹. Estos genotipos presentaron bajo índice de presencia de plantas afectadas por la enfermedad de la raíz causada por *Fusarium* spp.

Cuadro 6. Rendimiento (kg ha⁻¹) de grano de origen y cribado e incidencia de Fusarium en genotipos de garbanzo en suelo infestado con *Fusarium spp.*

Genotipo	Rendimiento de origen†		Rendimiento cribado		Índice Fusarium‡
HOGA 2010-23-7	2,930	a	2,665	a	2
HOGA 2010-31-12	2,643	ab	2,341	a	2
HOGA 2010-29-20	2,537	ab	2,275	ab	1
HOGA 2011-56-2	2,492	ab	2,145	ab	1
HOGA 2006-40-8	2,516	ab	2,095	ab	2
HOGA 2014-10-10	2,288	abc	2,074	ab	3
HOGA 2010-29-16	2,319	abc	2,072	ab	3
HOGA 2011-31-16	2,262	abc	2,057	ab	2
HOGA 2014-10-3	2,490	ab	2,044	ab	2
CUGA-09-2031	2,309	abc	1,979	ab	2
HOGA 2006-27-1	2,079	abc	1,828	abc	3
Blanco Sinaloa-92	2,046	abc	1,667	abc	3
HOGA 2011-31-1	2,039	abc	1,546	abc	3
HOGA 2011-31-20	1,516	bc	948	bc	4
HOGA 2008-6-1	1,159	c	599	c	6
Sign Estadística. §	**		**		

†, Valores con la misma letra dentro de la columna son iguales estadísticamente Tukey, 0.05.

‡, CIAT, 1987. Donde 1, no hay presencia de la enfermedad y 9, más del 75% de las plantas muertas.

§, Sign. Estadística, **, altamente significativo, p>0.99.

En cuanto al calibre de grano, que se mide por el número de granos en 30 g, y entre más grande el grano, mayor es el precio de venta. De los genotipos evaluados en este ensayo, sobresalen HOGA 2010-23-7, HOGA 2010-31-12 y HOGA 2011-31-16, por su tamaño grande de grano con calibre 4X (41 granos en 30 g) que los posiciona en un grano de calibre grande (Cuadro 7).

Cuadro 7. Calibre de grano de origen y cribado, y porcentaje de grano cribado de genotipos de garbanzo.

Genotipo	Calibre de origen †		Calibre grano cribado†		Porcentaje de cribado ‡	
HOGA 2010-23-7	46	c	41	c	91	a
HOGA 2010-31-12	46	c	41	c	86	ab
HOGA2010-29-20	46	c	44	bc	90	a
HOGA 2011-56-2	49	abc	44	bc	86	a
HOGA 2006-40-8	49	abc	43	c	83	ab
HOGA 2014-10-10	49	bc	45	bc	91	a
HOGA 2010-29-16	50	abc	43	bc	83	ab
HOGA 2011-31-16	44	c	41	c	91	a
HOGA 2014-10-3	50	abc	43	bc	82	ab
CUGA-09-2031	49	abc	43	c	85	ab
HOGA 2006-27-1	49	bc	44	bc	88	a
Blanco Sin.-92	49	bc	44	bc	81	ab
HOGA 2011-31-1	53	abc	46	abc	74	ab
HOGA 2011-31-20	60	ab	52	a	61	bc
HOGA 2008-6-1	62	a	50	ab	47	c
Sign Est. §	**		**			**

†, Calibre, número de granos en 30 g

‡, Porcentaje de cribado, porcentaje de granos obtenidos al pasar por una malla con perforaciones de 9 mm de diámetro.

Riego deficitario

Con el objetivo de detectar material genético tolerante a déficit de humedad en el suelo, se estableció un ensayo con 21 genotipos de garbanzo, con riego normal (RN) y riego reducido durante todo el ciclo del cultivo (RR). El riego normal consistió en aplicar los riegos de acuerdo al uso consuntivo del cultivo, y el riego reducido se aplicó el 70% del uso consuntivo estimado. En riego normal se aplicaron 38 cm de lámina de riego y en riego reducido 28 cm. Se usó el diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones; la parcela experimental fue una cama de siembra de 5 m de longitud y 1.6 m de ancho con doble hilera de siembra a 0.4 m, y la parcela útil fue 8 m². La siembra se hizo el 21 de enero de 2025. Se usó riego por goteo con cinta enterrada a 12 cm de profundidad. Las variables medidas fueron el rendimiento de grano de origen o de campo (no mostrado), rendimiento de grano cribado usando criba con perforaciones de 9 mm de diámetro, se obtuvo el calibre del grano que corresponde al número de granos en 30 g, así como el porcentaje de grano cribado. Se realizó análisis de varianza usando el paquete estadístico JMP de SAS®.

El análisis de varianza de los datos de rendimiento cribado, calibre de grano de origen y cribado, así como en el porcentaje de grano cribado, detectaron diferencia altamente significativa entre los genotipos evaluados en riego normal (RN), mientras que en riego reducido (RR) no hubo significancia estadística en rendimiento de grano de origen y cribado de los genotipos, y hubo diferencia

altamente significativa en calibre de grano de origen, cribado y porcentaje de grano cribado. De los genotipos evaluados, sobresalieron por su alto IER y rendimiento de grano cribado los genotipos Seri, HOGA 2010-23-7, HOGA 2006-40-8 y Calisur con 3,216, 2,922, 3,068 y 2,883 kg ha⁻¹, e IER de 1.37, 1.22, 1.22 y 1.19, respectivamente (Cuadros 8 y 9).

Los genotipos que presentaron la mayor reducción de rendimiento de RN comparado con el RR fueron Culiacán #1, Combo 743, Culiacán #2, Blanco Sinaloa-92 y HOGA 2006-27-1 con 42, 45, 43, 45 y 44 por ciento. Los genotipos que presentaron la menor reducción de rendimiento cribado en RR comparado con el RN fueron HOGA 2006-40-8, Calisur, HOGA 2008-5-2 y CUGA 09-3160 con 26, 26, 19 y 26 % de reducción (Cuadro 8). Estos genotipos presentaron los valores más bajos de ISS y cercanos a cero (Cuadro 9) que los posiciona como los más tolerantes a sequía (Fisher y Maurer, 1978). Este índice es un criterio aceptable para seleccionar genotipos que reducen menos su rendimiento al someterlos a estrés por humedad, aunque puedan no ser los más rendidores (Rosales *et al.*, 2000).

Cuadro 8. Rendimiento de grano cribado de genotipos de garbanzo en dos condiciones de humedad. Ciclo 2024-2025.

	Rendimiento de grano kg ha ⁻¹		Promedio	% Reducción
	Riego Normal	Riego restringido		
Seri	3,216	a	2,217	31
HOGA 2006-40-8	2,922	abc	2,165	26
HOGA 2010-23-7	3,068	ab	2,061	33
Calisur	2,883	abc	2,144	26
HOGA 2011-31-16	3,026	abc	1,939	36
HOGA 2008-7-6	3,076	ab	1,877	39
BlancoSon	2,808	abc	2,032	28
Culiacán #1	3,104	a	1,807	42
HOGA 2008-5-2	2,627	abc	2,128	19
HOGA 2008-5-15	2,920	abc	1,907	35
HOGA 2008-6-20	2,919	abc	1,887	35
Combo 743	3,165	a	1,737	45
HOGA 2006-40-12	2,920	abc	1,826	37
Culiacán #2	3,032	abc	1,726	43
Blanoro	2,733	abc	1,736	36
HOGA 2007-2-14	2,639	abc	1,785	32
Blanco Sinaloa-92	2,815	abc	1,559	45
HOGA 2006-27-1	2,793	abc	1,565	44
HOGA 2010-29-20	2,530	abc	1,677	34
CUGA 09-3160	2,229	d	1,639	26
Blanco Magdalena 95	2,243	cd	1,567	30
Promedio	2,841		1,856	34
Signif. Estadística†	**	ns		

†Signif. Estadística: **, altamente significativo p>0.99; ns, no significativo.

Cuadro 9. Indicadores de susceptibilidad a sequía y de eficiencia del rendimiento de genotipos de garbanzo en dos tipos de riego. Ciclo 2023-2024.

GENOTIPOS	ISS [†]	MG [‡]	IER [§]
Seri	0.93	2670	1.37
HOGA 2006-40-8	0.78	2515	1.22
HOGA 2010-23-7	0.98	2515	1.22
Calisur	0.77	2486	1.19
HOGA 2011-31-16	1.08	2422	1.13
HOGA 2008-7-6	1.17	2403	1.11
BlancoSon	0.83	2389	1.10
Culiacán #1	1.25	2368	1.08
HOGA 2008-5-2	0.57	2364	1.08
HOGA 2008-5-15	1.04	2359	1.07
HOGA 2008-6-20	1.06	2347	1.06
Combo 743	1.35	2345	1.06
HOGA 2006-40-12	1.12	2309	1.03
Culiacán #2	1.29	2287	1.01
Blanoro	1.09	2178	0.91
HOGA 2007-2-14	0.97	2171	0.91
Blanco Sinaloa-92	1.34	2095	0.85
HOGA 2006-27-1	1.32	2090	0.84
HOGA 2010-29-20	1.01	2060	0.82
CUGA 09-3160	0.79	1911	0.70
Blanco Magdalena 95	0.90	1875	0.68
Promedio	0.81	1,546	1.01

[†] ISS, Índice de Susceptibilidad a Sequía; [‡] MG, Media Geométrica; [§] IER, Índice de Eficiencia Relativa.

Conclusiones

Las nuevas variedades y líneas avanzadas élite de garbanzo son una buena opción de siembra para los productores, con

calidad y tolerancia a enfermedades de la raíz causada por *Fusarium spp.* En el Programa de Mejoramiento Genético de Garbanzo del INIFAP existen líneas avanzadas tolerantes al déficit de agua, con alta calidad de grano, aceptable productividad, con posibilidades de ser liberadas como nuevas variedades.

Literatura revisada

- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Standard system for the evaluation of bean germplasm. van Schoonhoven, A. and Pastor-Corrales, M.A. (compilers). Cali, Colombia. 54 p.
- Fierros L. G. A., P. F. Ortega M., R. A. Salinas P., I. Padilla V., V. Valenzuela H. y E. Gutiérrez P. 2012. Rendimiento, calidad de grano y respuesta a pudriciones radicales de 17 líneas elite de garbanzo. Memorias del XV Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Mexicali, B.C, México. p. 1047-1052.
- Fisher, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Austr. J. Agric. Res. 29:897-912.
- Graham, R. D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. Adv. Plant. Nutr. 1:57-102.
- Rosales, S. R., Ramírez, V. P., Acosta, G. J. A., Castillo, G. F. y Kelly, J. D. 2000. Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. Agrociencia. 34:153-165.
- Samper, C. M. and Adams, W. 1985. Geometric mean of stress and control yield as a selection criterion for drought tolerance. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 28:53-54.
- Saxena, N. P. 1984. Chickpeas. In: The Physiology of Tropical Field Crops. P. R. Goldsworthy and N.M. Fisher eds. John Wiley and Sons Ltd. New York, N.Y. U.S.A. p. 419-451.
- SIAP. 2024. Consulta en línea, 18 de octubre 2024. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>.

IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS DE GARBANZO SUPERIORES EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO EN ENSAYOS PRELIMINARES EN LA COSTA DE HERMOSILLO, SONORA

Gustavo Adolfo Fierros-Leyva¹, Pedro Francisco Ortega-Murrieta¹, Isidoro Padilla-Valenzuela², Jorge Alberto Acosta-Gallegos³, Claudia María Melgoza- Villagómez⁴

Ex- Investigador INIFAP-CIRNO-CECH¹ INIFAP-CIRNO-CENEB²,
INIFAP-CIRCE-CEBAJ³, INIFAP-CIRNO CETODS.

gfierrosleyva@gmail.com

Resumen

Los principales estados productores de garbanzo en el noroeste son Sinaloa, Sonora y Baja California Sur, y en el centro occidente Michoacán, Guanajuato y Jalisco. La superficie de siembra promedio cosechada en el noroeste de México en los últimos cinco años (2020-2024) fue de 73,924 ha, con rendimiento promedio de 1.95 t ha⁻¹, y con una producción de 144,544 toneladas anuales (SIAP, 2024) con un valor de la producción de aproximadamente 2,601 millones de pesos que se comercializa principalmente en el mercado internacional. La referencia de la calidad comercial del grano de garbanzo para exportación fue establecida por la variedad Blanco Sinaloa-92, la cual ha posicionado al garbanzo con la denominación de 'Garbanzo Mexicano', mismo que es demandado y comercializado en más de 40 países, entre los que se incluyen a Turquía, Argelia, Unión Europea (España), Estados Unidos y Emiratos Árabes. El objetivo de este estudio fue la

identificación de líneas de garbanzo superiores a las variedades comerciales en rendimiento y calidad de grano en ensayos preliminares. Para esto se estableció un ensayo en el ciclo otoño-invierno 2024-2025, en el Campo Experimental Costa de Hermosillo, en donde se evaluaron 10 líneas avanzadas y cuatro variedades de garbanzo, utilizando un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Para el análisis estadístico se utilizó el programa de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Versión 1.6. En rendimiento de grano de origen (sin cribar), se observó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) sobresaliendo las líneas HOGA 2010-1-4, HOGA 2012-25-12 y HOGA 2010-50-11 con rendimiento de 3.95, 3.77 y 3.46 t ha⁻¹ en ese orden, superando a las variedades testigo Mazocahui, BlancoSon, Blanco Sinaloa 92 y Blanoro cuyo rendimiento de grano fue 3.19, 3.18, 2.82 y 2.68 t ha⁻¹ respectivamente.

Palabras clave: Líneas avanzadas, exportación, calibre,

Introducción

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) es una leguminosa importante que se cultiva en más de 14,84 millones de hectáreas a nivel mundial, con una producción anual de casi 15 millones de toneladas métricas (FAOSTAT, 2020). En México, los estados productores incluyen a Sinaloa, Sonora y Baja California Sur en el noroeste, y en el centro occidente a Michoacán, Guanajuato y Jalisco, en los últimos cinco años (2020-2024) la superficie sembrada fue de 73,924 ha, con rendimiento promedio de 1.95 t ha⁻¹, y con una producción de 144,544 toneladas anuales (SIAP, 2024) con un valor de la

producción de aproximadamente 2,601 millones de pesos que se comercializa principalmente en el mercado internacional. La referencia de la calidad comercial del grano de garbanzo para exportación fue establecida por la variedad Blanco Sinaloa-92 (Gómez-Garza, 1993), la cual ha posicionado al garbanzo con la denominación de 'Garbanzo Mexicano', mismo que es demandado y comercializado en más de 40 países, entre los que incluyen a Turquía, Argelia, Unión Europea (España), Estados Unidos y Emiratos Árabes (Garzón, 2023). El cultivo del garbanzo se ha visto seriamente obstaculizado debido a la estrecha base genética y varios factores de estrés bióticos y abióticos, genética restringida y falta de cultivares comerciales de alto rendimiento son los factores más importantes para el declive del garbanzo en términos de rendimiento por unidad de superficie.

La mayoría de las variedades comerciales de garbanzo son vulnerables a los cambios climáticos y tienen una adaptabilidad limitada a entornos. La existencia de variabilidad entre los individuos garantiza la supervivencia de las especies en la naturaleza y es un buen factor para una gestión genética de cultivos exitosa en un programa de mejoramiento (Govindaraj *et al.* 2015). El cultivo de garbanzo ha permanecido como una opción rentable dentro del patrón de cultivos, y los productores de esta leguminosa tienen el desafío de producir grano de alta calidad comercial y nutricional, con bajos costos de producción.

Mientras que la investigación tiene el reto de incrementar rendimiento y la calidad las cuales son afectados por factores bióticos y abióticos principalmente los ocasionados por las enfermedades de la raíz y el cambio climático.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Campo Experimental Costa de Hermosillo en el ciclo otoño invierno 2024-25, se evaluaron 10 genotipos o líneas sobresalientes de garbanzo dentro de un ensayo preliminar de rendimiento y cuatro variedades como testigo. La siembra se hizo el 05 de enero del 2025 con riego presurizado en cintas separadas 1.60 m con siembra a doble hilera a 45 cm entre hileras, el diseño utilizado fue bloques al azar con cuatro repeticiones, la parcela experimental y la parcela útil fue de 1 cama de siembra por 5 m de largo (8.0 m²). Las variables evaluadas fueron: Rendimiento de origen, porcentaje de exportación, calibre de origen y calibre de exportación. Para el análisis estadístico de las medias se utilizó el programa estadístico de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Versión 1.6 (Olivares, 2015).

Resultados y discusión

El análisis estadístico en rendimiento de grano de origen arrojó diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$), sobresaliendo las líneas HOGA 2010-1-4, HOGA 2012-25-12 y HOGA 2010-50-11 con rendimiento de 3.95, 3.77 y 3.46 t ha⁻¹ en ese orden, superando a las variedades testigo Mazocahui, BlancoSon, Blanco Sinaloa 92 y Blanoro cuyos

rendimientos de grano fueron 3.19, 3.18, 2.82 y 2.68 t ha⁻¹ respectivamente (Cuadro 1).

En porcentaje de exportación el cual se define como el porcentaje de grano que resulta después de pasarlo por una criba de 9 mm, se observó diferencia significativa entre tratamientos, sobresaliendo las líneas HOGA 2012-25-12 y HOGA 2010-50-11 con 96% de exportación respectivamente, las cuales fueron estadísticamente iguales a las variedades Mazocahui, BlancoSon, Blanco Sinaloa 92 y Blanoro con porcentajes de exportación de 94, 94, 95 y 93% en ese orden.

El valor más bajo fue obtenido con la línea HOGA 2014-2-11 con 84%. Padilla *et al.* (2024), mencionan en un trabajo desarrollado en el Sur de Sonora al evaluar el rendimiento y calidad del garbanzo en suelo franco-limoso en el bajo río Mayo, Sonora encontró que Sinalomex 2018, HOGA 2007-2-5, CUGA 09 3096, Combo 743 y BlancoSon con 3.912, 3.912, 3.709, 3.707 y 3.620 t ha⁻¹, superaron al testigo Blanco Sinaloa 92 en 30.6, 30.6, 26.8, 26.8 y 25.0%, respectivamente, y en tamaño del grano (número de granos en 30g), sobresalió la línea CUGA 09-3096, con 43 granos/30 g y el menor se obtuvo con las líneas HOGA 2008 -7-6 y HOGA 2008-6-1 con 55 granos/30g.

En calibre de origen, el cual se define como el número de granos en 30 gramos de una muestra antes de la criba, en esta variable de calidad también mostró diferencia significativa entre tratamientos ($P \leq 0.05$), las líneas más sobresalientes fueron HOGA 2011-56-7 y HOGA 2010-32-14 con 39 y 42 granos en 30 gramos (6X y 4X), superando a las variedades comerciales evaluadas.

En calibre de exportación, el cual se define como el número de granos en 30 gramos de una muestra pasado por una criba de 9 mm, se detectó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con la línea HOGA 2011-56-7 con 38 granos en 30 gramos (6X), mientras que las variedades comerciales Mazocahui, BlancoSon, Blanco Sinaloa-92 y Blanoro obtuvieron 44, 44, 40 y 43 granos en 30 gramos. Padilla *et al.* (2022) observaron en un ensayo en donde se realizó una evaluación de rendimiento y tamaño de grano, los mejores tratamientos se obtuvieron con Blanoro, CUGA 09 2067 y a HOGA 2006-14-8 con 2.692 t ha⁻¹, 2.589 y 2.566 ton ha⁻¹, respectivamente.

Cuadro 1. Rendimiento de grano, porcentaje de exportación y calibre de origen y de exportación de 10 líneas avanzadas de garbanzo y cuatro variedades. Costa de Hermosillo 2024-25.

Línea/variedad	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Porcentaje de exportación	Calibre de origen (granos/30g)	Calibre de exportación (granos/30g)
HOGA 2010-1-4	3.95 a	95 a	46 fgh	44 cde
HOGA 2012-25-12	3.77 ab	96 a	43 bcde	41 b
HOGA 2010-50-11	3.46 ab	96 a	43 bcd	41 b
HOGA 2010-32-14	3.35 abc	94 a	42 b	40 b
HOGA 2010-4-15	3.30 bcd	93 a	48 i	45 dec
HOGA 2011-56-7	3.27 bcd	94 a	39 a	38 a
HOGA 2011-31-14	3.25 bcd	95 a	45 cdefg	43 cd
HOGA 2014-22-5	3.23 bcd	94 a	47 ghi	46de
HOGA 2014-2-11	3.21 bcd	85 b	51 j	46 e
HOGA 2012-25-16	3.2 bcd	95 a	45 efgh	42 bc
Mazocahui	3.19 bcd	94 a	47 hi	44 cd
BlancoSon	3.19 bcd	94 a	44 cdef	44 cd
Blanco Sinaloa 92	2.82 cd	95 a	42 bc	40 b
Blanoro	2.68 d	93 a	45 defgh	43 cd
DMS	0.626	3.914	2.254	2.111

Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales, DMS (p ≤ 0.05). DMS = diferencia mínima significativa.

Conclusiones

Las líneas avanzadas HOGA 2010-1-14, HOGA 2012-25-12 y HOGA 2010-50-11 fueron superiores a las variedades testigo en las variables rendimiento de grano y porcentaje de exportación.

En calibre de origen y de exportación, las líneas avanzadas HOGA 2011-56-7 y HOGA 2010-32-14 fueron superiores a las variedades comerciales Mazocahui, BlancoSon, Blanco Sinaloa 92 y Blanoro. HOGA 2011-56-7 fue superior en calibre de exportación al resto de los materiales evaluados.

Literatura citada

- FAOSTAT (2020) Resultados de la base de datos de citas. Organización para la Agricultura y la Alimentación. <http://faostat.fao.org> . Consultado el 13 de julio de 2023
- Garzón, J.M. (2023, 19 octubre). Mercado mundial de garbanzo. https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2021/09/PE.garbanzoalta_2021-99-110.pdf
- Gómez-Garza, R.M. 1993. Blanco Sinaloa-92: Nueva variedad de garbanzo para el noroeste de México. Folleto técnico núm. 13. INIFAP-CIRNO-CEVACU. Culiacán, Sinaloa. 12 p.
- Olivares, S. E. 2015. Programas de análisis estadístico de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Versión 1.6 de prueba. Monterrey. N.L.
- Padilla-Valenzuela I., Valenzuela-Herrera V., Ortega-Murrieta P. F., Ramírez-Soto M., Fierros-Leyva G. A., Acosta-Gallegos J., Rodríguez-Cota F. G., Gutiérrez-Pérez E. y Acosta-Saucedo R.H. 2022. Rendimiento de grano en líneas elite y nuevas variedades de garbanzo en fecha de siembra tardía en el sur de sonora. Memoria científica de Simposio Nacional de Garbanzo 2024. INIFAP-CIRNO-CECH. 106-111 Pp.
- Padilla-Valenzuela I., Ortega-Murrieta P. F. Fierros-Leyva G. A., Melgoza-Villagómez C. M., Acosta-Gallegos J. A., Guerrero-Aguilar B. Z. y

Ramírez-Soto M. 2024. Rendimiento y calidad del garbanzo en suelo franco-limoso en el bajo río Mayo, Sonora. Memoria científica de Simposio Nacional de Garbanzo 2024. INIFAP-CIRNO-CECH. 106-111 Pp.

SIAP. 2024. Producción Agrícola. Consulta en línea. <http://www.siap/sagarpa.gob.mx/>. (Fecha de consulta: 07 febrero de 2024).

Govindaraj M, Vetriventhan M, Srinivasan M. 2015. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. *Genet Res Int.* 2015;2015:431487. doi: 10.1155/2015/431487. Epub 2015 Mar 19. PMID: 25874132; PMCID: PMC4383386.

LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA: UNA ALTERNATIVA PARA LA AGRICULTURA REGENERATIVA EN GARBANZO

Angélica ANCELMO-LEÓN¹, César Omar MONTOYA-GARCÍA^{2*}

¹Licenciatura en Agronomía; Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Ciudad de México, México.

^{2*}Departamento de Agricultura y Ganadería-Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. cesar.montoya@unison.mx

Resumen

El aumento de la demanda alimentaria global, sumado al impacto ambiental de la agricultura convencional, exige la adopción de modelos productivos más sostenibles. La agricultura regenerativa surge como una solución, en donde promueve la mejora de la condición del suelo y la biodiversidad, esto contribuye a la mitigación del cambio climático. Dentro de esta transición, el cultivo de garbanzo es estratégico debido a su valor nutricional y su capacidad de fijar nitrógeno. El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial de la fertilización orgánica en el cultivo de garbanzo. Mediante una revisión bibliográfica, se analizaron diversas tecnologías de manejo nutricional. Los resultados demuestran que prácticas como la nanobiofertilización, el uso de extractos de algas, y la aplicación de enmiendas orgánicas como el vermicompost y el biocarbón genera efectos positivos y sinérgicos como la optimización de absorción de nutrientes esenciales y mejora la estructura del suelo. Le evidencia revisada

respalda firmemente el potencial de la fertilización orgánica y las tecnologías sostenibles como un pilar para la agricultura regenerativa en garbanzo.

Palabras clave: *nanobiofertilización, sostenibilidad agrícola, biofertilizante*

Introducción

La agricultura es una de las principales actividades humanas con impacto ambiental significativo, fomenta aproximadamente al 15% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero; aunado a esto, se prevé que la demanda alimentaria mundial continúe en aumento debido al crecimiento demográfico y a una mayor demanda per cápita, esta situación plantea el desafío urgente de incrementar la producción de alimentos sin comprometer la sostenibilidad ambiental (Bordisky *et al.*, 2015).

Ante este panorama, la agricultura regenerativa surge como una alternativa viable para promover sistemas productivos que no solo reduzcan el impacto ambiental, sino que también restauren los ecosistemas degradados (Rhodes, 2017). Este enfoque busca mejorar la condición edáfica, conservar el agua y aumentar la biodiversidad; igualmente, contribuye a la mitigación del cambio climático por medio de la restauración de la materia orgánica y de los servicios ecológicos del suelo (Foley *et al.*, 2017).

Dentro de este marco, el cultivo de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), representa una opción estratégica para la transición hacia modelos agrícolas más sostenibles; se trata de una leguminosa de alto valor nutricional y notable

tolerancia al estrés hídrico, además de ser capaz de establecer relaciones simbióticas con bacterias rizobiales que fijan nitrógeno atmosférico, de esta manera se reduce la dependencia de fertilizantes inorgánicos (Ahamd *et al.*, 2017). México ocupa el duodécimo lugar mundial, en los que destacan los estados de Sinaloa, Michoacán, Sonora, Guanajuato y Baja California Sur como principales zonas productoras (FAO, 2022).

Ante esto, la búsqueda de alternativas sostenibles en la fertilización del garbanzo ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías de manejo nutricional, entre ellas se encuentra la nanobiofertilización, que consiste en encapsular biofertilizantes dentro de nano materiales para liberar nutrientes de manera controlada y eficiente (Akhtar *et al.*, 2022). Asimismo, el uso de fertilizantes orgánicos derivados de recursos naturales, como los extractos de algas ha demostrado mejorar el rendimiento y la calidad del grano (Chebil *et al.*, 2024). Otras prácticas, como la aplicación de vermicompost, estiércol y biocarbón, complementan la nutrición vegetal en sistemas de secano y favorecen la regeneración del suelo (Tomar *et al.*, 2025; Svirastava *et al.*, 2024),

Por lo tanto, el objetivo fue realizar una revisión bibliográfica sobre la producción de garbanzo bajo el enfoque de agricultura regenerativa que aporte evidencia científica que respalde la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles, resilientes y ambientalmente responsables.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión bibliográfica en las bases de datos ResearchGate, MPDI, Google Académico, Scielo, Frontiers y Pubmed. El principal motor de búsqueda fue Google Académico, y las consultas se efectuaron en español e inglés; entre las palabras claves empleadas se incluyeron: “organic fertilizer”, “chickpea”, “organic amendments” y “nanofertilizer”.

Se realizó un análisis bibliométrico en Scopus para evaluar el conocimiento actual, perspectivas científicas y aplicaciones tecnológicas de la agricultura regenerativa. La búsqueda se limitó a artículos originales (2015-2025), excluyendo revisiones, libros, notas y cartas. Los datos se analizaron con VOSviewer (v. 1.6.20).

Resultados y discusión

El análisis bibliográfico reveló cinco agrupaciones centradas en: la agricultura sustentable, producción de cultivos, biofertilizantes y la salud del suelo (Figura 1). Estos resultados destacan las tendencias de investigación y los intereses principales en la agricultura regenerativa.

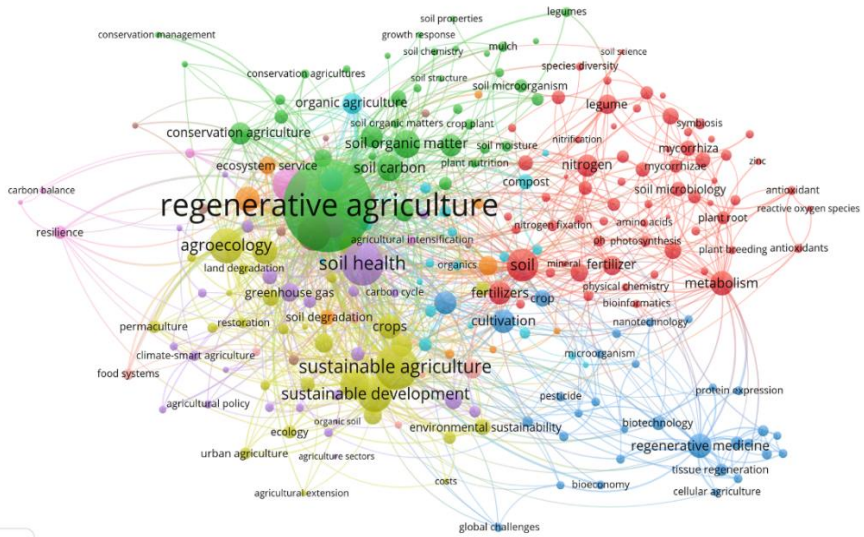


Figura 1. Análisis bibliométrico de artículos científicos relacionados a la agricultura regenerativa. Se observan cinco agrupamientos principales entorno a las prácticas de regeneración de suelo.

Existen diversas definiciones de agricultura regenerativa, sin embargo, cada una se enfoca en limitaciones de prácticas agronómicas y no en beneficio de los productores, del suelo y obtención de productos de alta calidad. El concepto que se podría considerar más cercano en el cumplimiento de lo anterior es: *Sistema de producción agrícola que consiste en usar practicas sostenibles y tecnologías de última generación, con la finalidad de producir alimentos sanos, limpios, y nutritivos a través de la recuperación de la fertilidad, la adaptación al cambio climático y conservación de suelo, agua, aire y salud humana* (Khangura et al., 2023; Sher et al., 2024).

En este sentido, la aplicación la nanobiofertilización representa una opción prometedora dentro de la agricultura sostenible, esta tecnología favorece el equilibrio microbiano del suelo, mejora la solubilización de fosfatos, estimula la síntesis de hormonas de crecimiento y permite una liberación gradual de nutrientes, factores que inciden en el incremento de la productividad agrícola; Abisakar *et al.* (2024) aplicaron de forma foliar un biofertilizante en nano emulsión (5 ml·L) a los 30 y 40 días después de la siembra (dds), junto con fertilización inorgánica (25 kg ha⁻¹ de N, 50 kg P y 20 kg ha⁻¹ de K) y vermicompost (5 ton ha⁻¹), el tratamiento combinado demostró un aumento en la altura de las plantas, número de vainas, biomasa, contenido de clorofila y rendimiento; sumado a esto, mejoraron la eficiencia fotosintética y la absorción de nutrientes, lo que se tradujo en un desarrollo más vigoroso del cultivo.

Por otra parte, los biofertilizantes elaborados con extractos de algas se han utilizado con éxito para estimular la germinación de semillas, aumentar la tolerancia al estrés biótico y abiótico, y optimizar la disponibilidad de nutrientes en el suelo; en el estudio de Chebil *et al.* (2024), la aplicación del extracto de *Chaetomorpha linum* al 1 % promovió la germinación y el crecimiento del garbanzo, este efecto se asocia con la presencia de auxinas, giberelinas, aminoácidos y micronutrientes presentes en el extracto, los cuales estimulan la síntesis de clorofila y el metabolismo vegetal (Cuadro 1).

Adicionalmente, el uso de enmiendas orgánicas es otro componente clave para cubrir con los requerimientos nutricionales del cultivo durante sus etapas distintas de crecimiento; Srivastava *et al.* (2024) observaron que la aplicación de vermicompost (5 ton ha^{-1}) a los 45 días después de la siembra promovió la formación de nódulos radiculares, y posteriormente, un aumento de la altura de las plantas a los 90 dds, este comportamiento se atribuye al aporte equilibrado de nutrientes orgánicos, que favorece un crecimiento sostenido y un mejor desarrollo del sistema radicular.

Por su parte, han surgido otras prácticas en la que destaca la incorporación de biocarbón como enmienda para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos con problemas de salinidad; Lastiri-Hernández *et al.* (2025) evaluaron biocarbón obtenido de residuos de mazorcas de maíz al 1.5 y 3 %, en el cual encontraron mejoras notables en la estructura del suelo y en el crecimiento de *C. arietinum*, reportaron una reducción de sodio y cloro, así como una mayor acumulación de potasio, calcio y magnesio en raíces y tallos; estos elementos participan en procesos fisiológicos esenciales, lo que se reflejó en un incremento de biomasa, altura, diámetro del tallo, longitud de la raíz, número de vainas y rendimiento del cultivo.

Tomar *et al.* (2025) demostraron que la aplicación foliar de ácido salicílico (100 ppm), combinada con biocarbón (2 t ha^{-1}) durante las etapas de floración y llenado de vainas, mejoró significativamente el crecimiento, rendimiento y calidad del grano, esto permite adoptar nuevas estrategias sostenibles

para fortalecer la producción de garbanzo especialmente en sistemas de secano o con recursos limitados.

Cuadro 1. Tecnología de fertilización (orgánica y nano) y enmiendas aplicadas al cultivo de garbanzo (*Cicer arietinum* L.)

Enmienda/ Tecnología	Cultivo	Base de formulación	Efecto en las plantas	Referencia
Nano- biofertilización	<i>Cicer arietinum</i> L.	Fertilización inorgánica + vermicompost + biofertilizante de nano emulsión (<i>Rhizobium</i> y bacterias solubilizadoras de fosfato)	Mayor número de vainas, mayor biomasa y mayor contenido de clorofila.	Abisankar et al., 2024
Biofertilizante	<i>Cicer arietinum</i> L.	Extracto del alga <i>Chaetomorpha linum</i> concentrado a 1%	Máxima germinación de semillas, longitud de raíz y tallo, alto contenido de clorofila.	Chebil et al., 2024
Enmienda orgánica	<i>Cicer arietinum</i> L.	Vermicompost	Mayor crecimiento, aumento del número de vainas, nodulación y rendimiento del grano.	Srivastava et al., 2024
Enmienda orgánica	<i>Cicer arietinum</i> L.	Biocarbón de mazorca de maíz (al 1.5% y 3%)	Aumento de la altura de la planta, biomasa, diámetro del tallo, número de vainas y rendimiento de los frutos.	Lastiri-Hernández et al., 2025
Enmienda orgánica	<i>Cicer arietinum</i> L.	Biocarbón + ácido salicílico	Aumento el crecimiento, rendimiento y la calidad de garbanzo	Tomar et al., 2025

Conclusión

La agricultura regenerativa brinda una perspectiva holística de producción desde el cuidado del suelo hasta la obtención de alimentos saludables. Este enfoque no debe ser restrictivo, la visión es integrar elementos de la agricultura convencional y orgánica que funcionen en beneficio de los productores, el cuidado ambiental y la nutrición humana.

Prácticas como la nanobiofertilización, el uso de extractos de algas, el vermicompost y el biocarbón han reportado efectos positivos en parámetros clave del cultivo, tales como la germinación, el crecimiento vegetativo, la biomasa y el rendimiento del grano. Los estudios revisados coinciden en que la combinación equilibrada de fuentes orgánicas e inorgánicas mejora la eficiencia fotosintética, optimiza la absorción de nutrientes y promueve la regeneración del suelo.

En conjunto, los resultados respaldan el potencial de la fertilización orgánica como pilar de la agricultura regenerativa aplicada al cultivo de garbanzo, ya que no solo incrementa la productividad y la calidad del grano, sino que también influye en el rendimiento y la restauración de la salud del suelo; empero, se recomienda continuar con investigaciones experimentales que profundicen en la interacción entre distintos tipos de enmiendas orgánicas, su impacto a largo plazo en la fertilidad del suelo y su viabilidad económica en sistemas agrícolas sustentables.

Literatura citada

- Abisankar, S. M., Augustine R., Manuel, I. R., Kumar, S. M. 2024. Respuesta morfológica y de productividad del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) a la nanobiofertilización. *Legume Research*. 47(12): 2123-2128. doi: 10.18805/LR-5368.
- Akhtar, N., Ilyas, N., Meraj, T. A., Pour-Aboughadareh, A., Sayyed, R. Z., Mashwani, Z.-u.-R., Poczai, P. 2022. Improvement of Plant Responses by Nanobiofertilizer: A Step towards Sustainable Agriculture. *Nanomaterials*, 12(6), 965. <https://doi.org/10.3390/nano12060965>
- Bodirsky, B. L., Rolinski, S., Biewald, A., Weindl, I., Popp, A., and Lotze-Campen, H. 2015. Global food demand scenarios for the 21st century. *PLoS ONE* 10:e01329201. doi: 10.1371/journal.pone.0139201
- Chebil, L., Ktari, L., Ben Douaoua, I., Melki, M. 2024. Effect of the green macroalgae *Chaetomorpha* linum liquid extract on the germination, growth and pigments concentration of the chickpea *Cicer arietinum* L., 1753. *INSTM Bulletin: Marine and Freshwater Sciences*, 49, 30–43. <https://doi.org/10.71754/instm.bulletin.v49.1684>
- FAO. 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337–342. doi: 10.1038/nature10452
- Khangura, R., Ferris, D., Wagg, C., Bowyer, J. 2023. Regenerative agriculture—A literature review on the practices and mechanisms used to improve soil health. *Sustainability*, 15(3), 2338. <https://doi.org/10.3390/su15032338>
- Lastiri-Hernández M. A., Pérez-Inocencio, J., Conde-Barajas, E., de la Luz Xochilt Negrete-Rodríguez, M., Álvarez-Bernal D. 2025. Ameliorating Saline Clay Soils with Corncob Biochar for Improving Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Growth and Yield. *Soil Systems*. 9(3):71. <https://doi.org/10.3390/soilsystems9030071>
- Rhodes, C. J. 2017. The imperative for regenerative agriculture. *Sci. Prog.* 100, 80–129. doi: 10.3184/003685017X14876775256165
- Sher, A., Li, H., ullah, A., Hamid, Y., Nasir, B., Zhang, J. 2024. Importance of regenerative agriculture: Climate, soil health, biodiversity and its

socioecological impact. *Discover Sustainability*, 5(1), 462.
<https://doi.org/10.1007/s43621-024-00662-z>

Srivastava, N., Gupta, S., Suman, M., Chandra, G. 2024. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth and yield in response to organic manures and biofertilizers. *Ecology, Environment and Conservation*. 30. 726-730. 10.53550/EEC.2024.v30i02.051.

Tomar, M., Chaplot, P., Choudhary, R., Athwal, K., Bhinda, N., Kumar, P., Patidar, R. 2025. Salicylic Acid and Biochar effect on Growth, Growth Efficiency, Yield and Quality of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Rainfed Condition. *Ecology Environment and Conservation*. 31. S435-S439. 10.53550/EEC.2025.v31i03s.066.

PROBLEMAS Y SOLUCIONES EN SISTEMAS DE RIEGO PRESURIZADO RELACIONADOS CON LA CALIDAD DEL AGUA

Ing. Armando Bastidas Valencia

Asteca Riegos, Hermosillo, Sonora, México.

Introducción

En la agricultura moderna, los sistemas de riego presurizado se han consolidado como una herramienta esencial para garantizar un uso eficiente del agua, un recurso cada vez más limitado. Estos sistemas permiten una distribución uniforme del agua, lo que maximiza el aprovechamiento del recurso y asegura un buen rendimiento en los cultivos. Sin embargo, estos sistemas no están exentos de problemas, especialmente cuando la calidad del agua utilizada en el riego presenta inconvenientes. Estos problemas no solo afectan la eficiencia del riego, sino que también pueden dañar los equipos, aumentar los costos operativos y reducir la productividad agrícola. Este artículo explora los problemas más comunes que enfrentan los sistemas de riego presurizado, las causas subyacentes de estos problemas y las soluciones más eficaces para garantizar un funcionamiento óptimo.

Dependiendo del proyecto y de la calidad de los materiales que se hayan usado, un sistema de riego por goteo puede ser muy seguro y exento de problemas o por el contrario tener continuas crisis. De cualquier manera, aún en las

mejores instalaciones se necesitan inspecciones de rutina y un mantenimiento preventivo. Estas operaciones deben llevarse a cabo por personal responsable y capacitado.

El sistema de riego por goteo solo tendrá un período largo de rendimiento satisfactorio si se hace un programa adecuado de mantenimiento y si este se aplica desde el principio. Uno de los primeros problemas que se tiene que afrontar, es la obstrucción o taponamiento de los orificios emisores. Se han descubierto e identificado varios factores que pueden ser los responsables de este fenómeno de obstrucción, tales como la presencia de microorganismos, el tamaño y cantidad de sólidos en suspensión en el agua y la presencia de ciertos elementos como el hierro, manganeso y calcio que pueden precipitar y formar depósitos dentro de las tuberías secundarias y los emisores. Cuando estos u otros factores constituyen un problema potencial se debe desarrollar un detallado programa de mantenimiento para asegurar un rendimiento óptimo.

Mantenimiento de los sistemas de filtrado

Constituye una parte muy importante del mantenimiento de todo el sistema de riego. Los diversos tipos de filtros de arena, anillos y mallas necesitan limpieza, lavado o sustitución de los distintos elementos que los componen. Los filtros pueden estar diseñados para lavado manual o completamente automatizado. En la mayoría de las grandes instalaciones de riego para reducir la mano de obra se acude al control de filtraciones automatizadas.

Filtros de arena

Muchos de los problemas asociados con los filtros de arena provienen de una falta de conocimiento acerca de sus requerimientos de trabajo y mantenimiento. Los daños están causados por arena de baja calidad, control inadecuado de la corriente de lavado, lavado ineficiente, y por supuesto de un pobre mantenimiento.

Funcionamiento

Un filtro de arena está constituido por un tanque, dentro del cual en la parte inferior se encuentra un bajo filtro (también llamado colector o drenaje inferior), además de contener una capa de grava y arena sílica. El agua fluye normalmente por la superficie del lecho de arena, lo atraviesa y sale por su parte inferior, dejando las partículas de suelo y otras impurezas atrapadas dentro del lecho de arena. Cuando se ha acumulado demasiada materia extraña dentro de la arena se hace difícil que el agua atravesase el filtro y aumenta su pérdida de carga. Este aumento indica que el filtro necesita limpiarse mediante un retrolavado, también llamado lavado por reflujó.

Retrolavado.

El retrolavado de un filtro, se refiere al proceso de invertir la dirección de la corriente de agua a través de su lecho de arena, este cambio de dirección suspende y agita el lecho de arena y lo lava extrayendo las impurezas atrapadas en el filtro. El filtro de arena debe lavarse con tal frecuencia que se mantenga libre de excesos de material filtrado. Si se deja de hacer esto se producirán altas pérdidas de carga en el

filtro y una agregación y cementación del lecho de arena, particularmente cuando hay hierro o manganeso presente en el agua. Si la instalación tiene un filtro de arena de lavado manual, precisarán atención las frecuencias y periodos de lavado. Los controles de lavado automatizado pueden consistir en un reloj que inicia el lavado a un intervalo preestablecido o en un sensor de diferencial de presión (dp) que ocasionara el lavado siempre que la pérdida de carga en el filtro exceda los límites especificados. A menudo el sensor de dp y el reloj se usan juntos. Los controles de lavado automático son generalmente seguros y reducen enormemente el trabajo del lavado de los filtros de arena. Es importante que el caudal del lavado sea lo suficientemente alto para agitar vigorosamente el lecho de arena, pero también lo suficientemente bajo para que solo el material filtrado sea expulsado y no la arena del filtro. La selección de la arena es importante para el funcionamiento adecuado del filtro. La arena ideal es de tamaño uniforme hecha de sílice o granito y cuidadosamente tamizada de acuerdo con su tamaño. La arena que se encuentra en la naturaleza, es a menudo redondeada, pobremente graduada y llena de partículas demasiado finas, las cuales pueden perjudicar el funcionamiento del filtro.

Mantenimiento al final de la temporada.

Los filtros de arena se deberán lavar completamente y clorar para impedir el crecimiento de microorganismos. Los tanques deberán lavarse y secarse adecuadamente, además se comprobará el nivel de arena, y a su vez

inspeccionará para ver si hay indicios de cementación u otros problemas.

Dispositivos del cabezal del sistema

Una estación de riego bien proyectada estará dotada de aparatos de diagnóstico que permitirán al operador controlar la operación del sistema de riego y detectar los posibles problemas en su inicio. En esta categoría están los caudalímetros o medidores de gasto, manómetros, filtros, controladores automáticos de riego, inyectoros de químicos, automatismos, entre otros.

Caudalímetros o medidores de flujo

Se suelen instalar en la tubería principal de suministro y proporcionan lecturas tanto instantáneas como acumulativas. Estos dispositivos deberán leerse regularmente y los datos quedarán registrados en un cuaderno. Las variaciones de caudal en el sistema pueden indicar que se está presentando algún problema. Por ejemplo, un descenso gradual del caudal del sistema medido por el caudalímetro puede indicar un problema en la estación de bombeo o de obturación en el campo. Por el contrario, un inesperado aumento del caudal puede indicar una ruptura de tubería o la presencia de pérdidas en el sistema. Las mediciones en volumen de agua acumulado servirán para verificar las aplicaciones de agua programadas.

Tomas de presiones manométricas

Las instalaciones de riego deberán tener suficientes puntos de tomas de presión para que se pueda realizar un examen completo del sistema de riego. Grandes diferencias de presión en las diferentes secciones del sistema pueden indicar suciedad, pérdida de carga u otros problemas. Los exámenes de control de presión deben efectuarse regularmente y quedar registrados.

Mantenimiento y lavado de tuberías

Las condiciones a las que está sometida una tubería secundaria en el campo son muy adversas. Al estar instalada, en general, se encuentra sometida a tensiones de agotamiento de alguna magnitud y también a la maquinaria agrícola que puede romperla. Si la tubería está por encima del terreno se encontrará expuesta a la luz solar. Asimismo, tanto rocas como tallos y raíces de las plantas tenderán a dañar la tubería. Las ratas, hormigas y acciones vandálicas pueden causar también grandes daños en algunas áreas. La tubería debe ser resistente a los fertilizantes químicos, desinfectantes (cloro), ácidos y pesticidas.

En muchos sistemas de micro-irrigación es indispensable prever lavados en las tuberías principales y secundarias para eliminar los sedimentos, constituyéndose como una rutina importante de mantenimiento. El factor más importante es el agua de riego y su contenido. Independientemente del tratamiento el agua contendrá igualmente impurezas que tenderán a obturar los orificios y emisores, y estas impurezas se sedimentarán también, llegando a formar un

depósito en el fondo de las tuberías secundarias. Estos depósitos de sedimentos se deben limpiar periódicamente de las tuberías secundarias, y para ello se han desarrollado una gran cantidad de válvulas de descarga y válvulas de drenaje para conseguir esto eficientemente.

Los emisores deberán inspeccionarse ocasionalmente y su caudal debe ser medido. Si se produce una gran diferencia con el caudal de emisión de proyecto deberá investigarse la causa. La disminución general de los caudales será el primer síntoma de un problema biológico potencialmente mayor o de un problema de obturación por sustancias químicas dentro del sistema. Estos problemas se solucionan fácilmente si se descubren en sus primeras etapas.

Las tuberías principales, secundarias y regantes (cinta), se deberán lavar varias veces durante el ciclo del cultivo. Durante el funcionamiento del sistema de riego se deberán abrir los finales de las tuberías laterales regantes y permitir que el agua corra hasta que salga limpia. Además, se recogerá agua sucia en una jarra de cristal y se examinará cuidadosamente, tomando nota de las impurezas y descartar si pudiera tratarse de algún lodo bacteriano, precipitados de hierro o arena que pudiera venir del filtro.

Problemas Relacionados con la Calidad del Agua

La calidad del agua es uno de los factores más críticos en los sistemas de riego presurizado. La presencia de bicarbonatos y otros minerales en el agua puede causar problemas graves, como la precipitación de sales en los filtros y el taponamiento de los goteros. Estos problemas no

solo afectan la eficiencia del riego, sino que también pueden generar costosos daños a largo plazo.

En estos casos, el pH del agua es un indicador clave. El agua con un pH elevado puede favorecer la precipitación de carbonatos de calcio, lo que provoca la obstrucción de los sistemas de riego. Para solucionar este problema, es común recurrir a la acidificación del agua.

Uso de Tecnología en el Monitoreo y Optimización del Riego

La implementación de tecnologías avanzadas, como el uso de imágenes satelitales para monitorear la humedad del suelo, puede mejorar significativamente la distribución del agua en los cultivos. Estos avances permiten una gestión más precisa del riego, evitando el desperdicio de agua y asegurando que cada área reciba la cantidad adecuada de riego. Además, el uso de sensores para medir la humedad en tiempo real ayuda a optimizar los ciclos de riego y a prevenir el riego excesivo o insuficiente.

Los sistemas de monitoreo de humedad son una excelente herramienta para mejorar la eficiencia en el riego. Mediante el uso de sensores y tecnologías de imágenes satelitales, los agricultores pueden realizar ajustes en tiempo real, mejorando la distribución del agua y reduciendo el consumo. Estas tecnologías también permiten planificar mejor las dotaciones de agua, asegurando un uso sostenible del recurso.

Literatura citada

- Boswell, M. J. 1990. Manual de Diseño y Manejo de Sistemas de Micro-Irrigación (Trad. Jesús Rodrigo López, Antonio Pérez Regalado y Manuel Bello Hernández). Ed. James Hardie Irrigation (Iberia). Sevilla, España. 291 p.
- Velázquez, D. D. 2018. Funcionamiento y Mantenimiento del Cabezal y Cinta de Riego. Serie Agua y Riego. Núm. 23. Artículos Técnicos de INTAGRI. México.

CARTELES DE INVESTIGACIÓN



EFEECTO DE LA ADICIÓN DE MALTA DIASTÁSICA EN LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE UNA BEBIDA A BASE DE GARBANZO (*Cicer arietinum* L.)

Arteaga, Mac Kinney, Guillermo

Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

Correo electrónico: guillermo.arteaga@unison.mx

Resumen

El garbanzo es una leguminosa de alto valor nutricional y potencial agroindustrial en Sonora, México. El principal desafío en la elaboración de bebidas vegetales de garbanzo es la elevada viscosidad asociada a su contenido de almidón, lo que reduce la aceptabilidad sensorial. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adición de malta diastásica sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de una bebida elaborada a base de garbanzo (*Cicer arietinum*). Para ello se aplicaron tratamientos con malta diastásica en tres concentraciones (0.1%, 0.5% y 1%), evaluándose su efecto sobre la viscosidad, contenido de sólidos, color, proteínas y aceptabilidad sensorial. La adición de malta diastásica permitió reducir la consistencia sin alterar significativamente el valor nutricional, manteniendo un contenido de proteína entre 4 y 5%. El tratamiento con 0.5% presentó la mejor relación entre fluidez, estabilidad y aceptación. Este desarrollo representa una alternativa sustentable frente a bebidas vegetales convencionales, aprovechando el potencial del garbanzo sonorense como materia prima local.

Palabras clave: garbanzo, bebida vegetal, malta diastásica.

Introducción

El garbanzo (*Cicer arietinum*) es una leguminosa ampliamente cultivada en el estado de Sonora, reconocida por su alto contenido proteico (18–24% en base seca), fibra dietética y micronutrientes esenciales. Sin embargo, su consumo local sigue siendo limitado. Con el auge de las bebidas vegetales, se ha incrementado el interés por desarrollar alternativas nutritivas y sustentables a la leche de vaca (Aguilar-Raymundo y J.F. Vélez-Ruiz., 2013). El principal obstáculo técnico para el desarrollo de bebidas de garbanzo es la viscosidad causada por el almidón (Hamioud *et al.*, 2025). En este estudio se evaluó la adición de malta diastásica como una estrategia enzimática para mejorar la fluidez y aceptabilidad de la bebida.

Materiales y métodos

Se utilizaron garbanzos sonorenses donados por un productor local. Los garbanzos se remojaron en agua durante 12 horas y posteriormente se molieron con una proporción semilla:agua de 1:4 utilizando agua caliente. La mezcla resultante se filtró para eliminar el material no soluble y se sometió a pasteurización. Posteriormente, se enfrió a 55°C, se envasó y se mantuvo en refrigeración hasta su análisis (máximo 3 días).

Durante el procesamiento térmico se observó un incremento en la viscosidad, por lo que se incorporó malta diastásica en tres niveles (0.1%, 0.5% y 1%) para evaluar su

efecto reductor sobre la consistencia y los otros parámetros evaluados. Las muestras de bebidas a base de garbanzo se analizaron en cuanto a sólidos totales (grados Brix), contenido de proteínas (método Kjeldahl) color (escala Lab), consistencia (consistómetro Bostwick) y aceptabilidad sensorial (Meza Martínez *et al.*, 2016) Esta última, se evaluó mediante una prueba de aceptabilidad o nivel de agrado empleando una escala hedónica de 5 puntos con un panel de 15 consumidores (Lopez *et al.*, 2019).

Resultados y discusión

La adición de malta diastásica redujo significativamente la consistencia/viscosidad de la bebida sin afectar su composición química (Cuadro 1). El tratamiento con 0.5% fue el más adecuado, logrando un equilibrio entre fluidez, aceptabilidad y contenido proteico. Las bebidas presentaron entre 3.2% y 4.0% de proteína y valores de sólidos solubles totales de 6–8%. El color, evaluado con la escala Lab, no presentó cambios significativos entre los tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 1. Grados Brix, concentración de proteínas (%) y consistencia relativa de las diferentes bebidas a base de garbanzo.

Tratamiento	Grados Brix	Proteínas (%)	Consistencia relativa
Control	6.3 ^a	3.0 ^a	1.0 ^a
0.1 MD	7.2 ^b	3.5 ^b	0.2 ^b
0.5 MD	7.8 ^b	3.7 ^b	0.1 ^b
1.0 MD	7.8 ^b	4.0 ^b	0.1 ^b

Dentro de una misma columna superíndices diferentes indican diferencias significativas a un nivel de confianza del 95%.

Cuadro 2. Parámetros de color Lab de las diferentes bebidas a base de garbanzo

Tratamiento	L	a	b
Control	82 ^a	2.0 ^a	25.0 ^a
0.1 MD	88 ^a	0.0 ^a	20.0 ^a
0.5 MD	90 ^a	0.0 ^a	16.0 ^a
1.0 MD	90 ^a	1.0 ^a	17.0 ^a

Dentro de una misma columna superíndices diferentes indican diferencias significativas a un nivel de confianza del 95%.

Sensorialmente, el tratamiento intermedio obtuvo la mejor evaluación en apariencia y textura y aceptabilidad general, aunque se identificó el sabor como área de mejora. Algunos consumidores destacaron la presencia de "notas vegetales" que afectaron su evaluación.

Cuadro 3. Aceptabilidad sensorial de las diferentes bebidas a base de garbanzo. Escala hedónica de 5 puntos (1=Me disgusta, 5=me gusta)

Tratamiento	Aceptabilidad Apariencia	Aceptabilidad Sabor	Aceptabilidad General
Control	4.2 ^a	3.5 ^a	4.0 ^a
0.1 MD	4.4 ^a	3.4 ^a	4.1 ^a
0.5 MD	4.0 ^a	4.2 ^b	4.6 ^b
1.0 MD	4.5 ^a	3.6 ^a	4.3 ^a

Dentro de una misma columna superíndices diferentes indican diferencias significativas a un nivel de confianza del 95%.

Estos resultados confirman que la incorporación controlada de enzimas aminolíticas, por medio de la adición de la malta diastásica, puede optimizar la calidad física y sensorial de bebidas vegetales a base de garbanzo, teniendo potencial de aplicación para la generación de productos de valor agregado a base de garbanzo.

Conclusiones

La adición de malta diastásica en concentraciones moderadas (0.5%) mejoro significativamente la fluidez de una bebida a base de garbanzo sin alterar su valor nutricional. El producto final mantiene un contenido proteico adecuado y una textura aceptable para el consumidor. Este desarrollo puede contribuir a diversificar el uso del garbanzo en México, fomentando su transformación agroindustrial y el desarrollo de alimentos sustentables de origen vegetal.

Literatura citada

- Hamioud, A., Benmeziane, F., Djermoune-Arkoub, L. (2025). Chickpea milk: nutritional profile, functional characteristics, bioactive compounds and quality enhancement. A comprehensive review. *Food and Feed Research*, 52(2): 161-179.
- Aguilar-Raymundo y J.F. Vélez-Ruiz. (2013). Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 7-2: 25.
- Meza, Martínez M*, Hurtado, Campos K.F, Reyes, Rosales Ma. A, Rosales, García K., Sosa, Morales, M.E. (2016). Leche de garbanzo (*Cicer arietinum* L.): Un alimento funcional.. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/9/139.pdf>.
Fecha de recuperación: Septiembre 2025
- Ponce-Fernández, E., Pollorena-López, G., Rosas-Domínguez, C., et al. (2019). Composición química, características funcionales y capacidad antioxidante de formulaciones de garbanzo (*Cicer arietinum*) blanco Sinaloa 92. *Agrociencia*, 53(1): 35-44.
- Lopez, M., Pierrepont, M., Duarte, M., C., et al. (2019). Legume Beverages from Chickpea and Lupin, as New Milk Alternatives. *Foods*, 9(10).

RENDIMIENTO DE GRANO Y EFICIENCIA HIDRICA DE LÍNEAS AVANZADAS DE GARBANZO (*Cicer arietinum* L.) BAJO DOS ESTRATEGIAS DE RIEGO EN BAJA CALIFORNIA SUR

**Raúl ÁVALOS-CASTRO, Claudia María MELGOZA-
VILLAGÓMEZ¹, José Denis OSUNA-AMADOR**

Campo Experimental Todos Santos. INIFAP. La Paz, Baja
California Sur

avalos.raul@inifap.gob.mx

Resumen

El presente estudio evaluó el rendimiento de grano (RG) y la productividad del agua (PA) en ocho genotipos de garbanzo (tres variedades comerciales y cinco líneas experimentales) bajo dos estrategias de riego (recomendado y deficitario) en el Valle de Santo Domingo, Baja California Sur, durante dos ciclos agrícolas consecutivos. Se utilizó un diseño factorial completo en bloques al azar y un modelo mixto con estimación REML y ajuste Kenward-Roger. Los efectos principales de ciclo, riego y genotipo fueron altamente significativos para ambas variables. El ciclo 2023–2024 presentó mayores valores de RG y PA que el ciclo anterior. El riego recomendado incrementó el rendimiento, mientras que el riego deficitario mejoró la eficiencia hídrica. Las líneas Hoga-23-7 y Hoga-40-12 destacaron por su alto rendimiento y eficiencia, superando a los genotipos comerciales. La interacción riego × genotipo mostró que algunos genotipos responden de forma diferencial a la disponibilidad hídrica,

lo que permite identificar genotipos con mayor estabilidad o sensibilidad positiva. Estos resultados respaldan el uso de líneas avanzadas de garbanzo en esquemas de manejo hídrico optimizado, y contribuyen al desarrollo de estrategias sostenibles para zonas áridas.

Palabras clave: *riego deficitario sostenido, rendimiento, riego por goteo*

Introducción

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) es una leguminosa estratégica para la agricultura en zonas áridas y semiáridas de México, debido a su capacidad de adaptación y su valor nutricional y comercial. La variedad Blanco Sinaloa 92, liberada por el INIFAP en la década de los noventa, ha sido ampliamente utilizada como material de referencia por su hábito de crecimiento erecto, buen calibre de grano y aceptación en mercados de exportación. No obstante, su prolongado uso y la creciente presión por mejorar la eficiencia en el uso del agua hacen necesario identificar nuevas líneas con comportamiento agronómico igual o superior, especialmente bajo condiciones de riego limitado.

En este contexto, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha desarrollado líneas avanzadas de garbanzo con potencial productivo y tolerancia a factores bióticos y abióticos. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de grano y la productividad del agua de cinco líneas avanzadas y tres variedades comerciales bajo dos estrategias de riego (recomendado y deficitario sostenido), utilizando cinta de goteo.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Sitio Experimental Valle de Santo Domingo del INIFAP, ubicado en Baja California Sur, México (25°00'36" latitud N, 111°39'49" longitud O; altitud: 48.3 msnm). El sitio presenta una precipitación media anual de 200 mm y una temperatura promedio de 22 °C. Durante el desarrollo del experimento no se presentaron lluvias. El experimento se estableció bajo condiciones de riego por goteo en un suelo franco arcillo-arenoso, con 0.23 % de materia orgánica, pH de 8.9 y conductividad eléctrica de 0.76 dS m⁻¹.

Se evaluaron dos ciclos agrícolas (otoño-invierno del 2022–2023 y 2023–2024), dos sistemas de riego (recomendado y deficitario sostenido), y ocho genotipos de garbanzo blanco: tres variedades comerciales (Blanco Sinaloa 92, Blanoro y Calisur) y cinco líneas experimentales avanzadas (Hoga-2011-31-16, Hoga-2010-23-7, Hoga-2006-40-12, Hoga-2008-6-20 y Hoga-2006-27-1). En ambos ciclos, la siembra se realizó el 22 de diciembre. El sistema de riego recomendado consistió en la aplicación de 40 cm de lámina total durante el ciclo del cultivo, conforme a la guía técnica del INIFAP (2010), mientras que el riego deficitario sostenido consideró una lámina de 20 cm.

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con arreglo factorial, considerando tres factores fijos: ciclo agrícola, estrategia de riego (recomendado y deficitario sostenido), y genotipo. Las parcelas experimentales consistieron en cuatro surcos de 4 m de longitud, de los cuales se utilizaron como parcela útil 2 m de

los surcos centrales. La densidad de siembra fue de 13 semillas por metro lineal, con surcos espaciados a 0.80 m. La fertilización se realizó con una dosis 90-40-00, utilizando como fuentes UAN 32® y ácido fosfórico. Para el control de maleza y del gusano minador (*Liriomyza sativae*), se aplicaron tratamientos pre-emergentes de oxifluorfen (240 g i.a. ha⁻¹) y Clorantraniliprol (150 mL ha⁻¹), respectivamente. Durante el desarrollo del experimento no se registraron precipitaciones.

Las variables evaluadas fueron: rendimiento de grano (RG), expresado en kilogramos por hectárea (kg ha⁻¹) y la productividad del agua (PA) expresada en kilogramos de grano por metro cúbico de agua de riego aplicada (kg m⁻³).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos para las variables rendimiento de grano (RG, kg ha⁻¹) y productividad del agua (PA, kg m⁻³) fueron analizados mediante un modelo mixto utilizando el procedimiento PROC MIXED del software SAS (versión 9.3). Se empleó el método de máxima verosimilitud restringida (REML) para la estimación de parámetros y el ajuste de Kenward-Roger para los grados de libertad, con el fin de mejorar la precisión en experimentos con tamaño de muestra moderado.

Se incluyeron todas las interacciones dobles y triples entre los factores. El efecto de bloque fue considerado aleatorio y anidado dentro del ciclo. Se realizaron pruebas de efectos fijos tipo III para determinar la significancia estadística de cada factor y sus interacciones. Las medias ajustadas

(LSMeans) se compararon mediante el método de Tukey ($p = 0.05$), y se reportaron con sus respectivos errores estándar e intervalos de confianza del 95 %. Cuando se detectaron interacciones significativas, se desglosaron e interpretaron dentro de cada combinación de factores.

Resultados y discusiones

Los efectos principales de ciclo agrícola, sistema de riego y genotipo fueron altamente significativos para ambas variables (Cuadro 1), lo que indica que el rendimiento de grano (RG) y la productividad del agua (PA) están fuertemente influenciados por el año de siembra, la disponibilidad hídrica y el material genético.

La interacción ciclo \times riego fue significativa únicamente para RG, lo que sugiere que aun cuando las estrategias de riego fueron las mismas entre ciclos, la respuesta productiva de los genotipos fue variante. En contraste, la interacción riego \times genotipo no fue significativa, lo que indica una respuesta consistente de los genotipos entre estrategias de riego.

Finalmente, la interacción ciclo \times genotipo fue significativa en ambas variables, lo que revela que ciertos materiales modifican su desempeño según el comportamiento del clima dentro de cada ciclo agrícola, destacando la importancia de evaluar estabilidad y adaptación multianual.

Cuadro 1. Resumen de efectos fijos para rendimiento de grano (RG) y productividad del agua (PA) de garbanzo bajo dos estrategias de riego

Efecto	RG	PA
Ciclo	0.0007	0.0009
Riego	<.0001	<.0001
Genotipo	0.0049	0.0011
Ciclo × Riego	<.0001	0.5048
Riego × Genotipo	0.1868	0.1652
Ciclo × Genotipo	0.0392	0.0059

El rendimiento de grano fue significativamente mayor en el ciclo 2023–2024 (3639.16 kg ha⁻¹) en comparación con el ciclo 2022–2023 (2545.24 kg ha⁻¹; *p* < 0.0001 Cuadro 2). De manera similar, la productividad del agua fue superior en el segundo ciclo (1.2641 kg m⁻³ vs 0.8940 kg m⁻³; *p* < 0.0001, Cuadro 2). Dado que el manejo agronómico, y las estrategias de irrigación implementadas fueron otorgadas de manera estandarizada en ambos ciclos, se atribuye el comportamiento variante entre ciclos a condiciones ambientales más favorables en el ciclo 2023-2024.

Cuadro 2. Efecto del ciclo de siembra sobre el rendimiento de grano (RG) y productividad del agua (PA) en genotipos de garbanzo.

Efecto	RG (kg ha⁻¹)	PA (kg m⁻³)
Ciclo 2022–2023	2545.24b	0.8940b
Ciclo 2023–2024	3639.16a	1.2641a

Letras distintas en una misma columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). RG: rendimiento de grano; PA: productividad del agua.

La estrategia de riego tuvo un efecto altamente significativo sobre ambas variables (Cuadro 3). El riego recomendado (40 cm) generó un rendimiento promedio de 3736.16 kg ha⁻¹, mientras que el riego deficitario (20 cm) alcanzó solo 2448.24 kg ha⁻¹ ($p < 0.0001$), evidenciando la sensibilidad del cultivo a la disponibilidad hídrica. En contraste, la productividad del agua fue mayor bajo riego deficitario (1.2239 kg m⁻³ vs 0.9342 kg m⁻³; $p < 0.0001$), lo que respalda su potencial como estrategia agronómica en zonas áridas, siempre que se seleccione el genotipo adecuado.

Cuadro 3. Efecto del tipo de riego sobre la respuesta productiva del garbanzo durante dos ciclos de evaluación.

Efecto	RG (kg ha⁻¹)	PA (kg m⁻³)
Riego deficitario sostenido	2448.24b	1.2239a
Riego recomendado	3736.16a	0.9342b

Letras distintas en una misma columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). RG: rendimiento de grano; PA: productividad del agua.

Se observaron diferencias significativas entre genotipos en cuanto a rendimiento de grano (Cuadro 4). Las líneas Hoga-23-7 y Hoga-40-12 destacaron con los valores más altos ($>3300 \text{ kg ha}^{-1}$), superando estadísticamente a los genotipos comerciales Blanco Sinaloa, Calisur y Blanoro.

En cuanto a productividad del agua, Hoga-40-12 (1.1723 kg m^{-3}) y Hoga-23-7 (1.1500 kg m^{-3}) mostraron los mejores resultados, también superiores a los genotipos comerciales. Estos resultados destacan el potencial de las líneas Hoga para mejorar la eficiencia hídrica y la productividad en condiciones de riego controlado.

Cuadro 4. Efecto del genotipo sobre la respuesta productiva del garbanzo durante dos ciclos de evaluación.

Efecto	RG (kg ha^{-1})	PA (kg m^{-3})
Blanco Sinaloa	2946.92c	1.0317d
Blanoro	3003.20c	1.0390d
Calisur	2913.20c	1.0171d
Hoga-23-7	3341.98ab	1.1500bc
Hoga-27-1	3003.26c	1.0671cd
Hoga-31-16	3141.49bc	1.0848cd
Hoga-40-12	3317.04ab	1.1723ab
Hoga-6-20	3070.53bc	1.0702cd

Letras distintas en una misma columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). RG: rendimiento de grano; PA: productividad del agua.

Bajo riego recomendado, todos los genotipos incrementaron significativamente su rendimiento, con Hoga-23-7 alcanzando el valor más alto ($4163.82 \text{ kg ha}^{-1}$; Cuadro 5). Bajo riego deficitario, Hoga-40-12 fue el más productivo ($2750.05 \text{ kg ha}^{-1}$), lo que indica una alta eficiencia bajo condiciones limitadas.

La interacción significativa entre riego y genotipo revela que la productividad del agua varía entre materiales. Hoga-23-7 mostró una alta sensibilidad positiva al riego recomendado ($+1643.68 \text{ kg ha}^{-1}$), mientras que Hoga-27-1 presentó una respuesta más estable entre tratamientos.

Cuadro 5. Rendimiento de grano de genotipos de garbanzo bajo dos estrategias de riego en dos ciclos de evaluación.

Efecto	Riego recomendado	Riego deficitario sostenido	Diferencia
	RG (kg ha^{-1})		
Hoga-23-7	4163.82	2520.14	1643.68
Hoga-31-16	3879.29	2403.7	1475.59
Blanoro	3723.49	2282.9	1440.59
Hoga-6-20	3713.83	2427.23	1286.6
Blanco	3544.98	2348.85	1196.13
Sinaloa	3491.02	2335.37	1155.65
Hoga-40-12	3884.03	2750.05	1133.98
Hoga-27-1	3488.82	2517.69	971.13

Letras distintas en una misma columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). RG: rendimiento de grano.

La productividad del agua también varió significativamente según la combinación riego \times genotipo (Cuadro 6). Bajo riego deficitario, Hoga-40-12 alcanzó el valor más alto (1.3699 kg m^{-3}), seguido por Hoga-27-1 y Hoga-23-7 ($>1.25 \text{ kg m}^{-3}$). Es importante señalar que estas estrategias muestran el desempeño variante de los genotipos en condiciones recomendadas y deficitarias sostenidas de irrigación, sin embargo, la variable PA no debe ser tomada como un indicador aislado de selección de tratamiento de riego sobresalientes, ya que habitualmente bajas irrigaciones exhiben valores altos de productividad del agua (Singh *et al.*, 2016).

Bajo riego recomendado, los valores fueron menores, aunque Hoga-23-7 mantuvo una eficiencia relativamente alta (1.0431 kg m^{-3}). Estas diferencias absolutas posicionan a Hoga-40-12 y Hoga-27-1 como candidatos ideales para estrategias de ahorro de agua, mientras que genotipos con menor variación, como Hoga-23-7, podrían ser útiles en esquemas de riego más estables.

Cuadro 6. Efecto de la interacción riego x genotipo sobre el rendimiento de grano del garbanzo en dos ciclos de evaluación.

Efecto	Riego recomendado	Riego deficitario sostenido	Diferencias
	PA (kg m ⁻³)		
Hoga-40-12	0.9747	1.3699	0.3952
Hoga-27-1	0.8759	1.2583	0.3824
Calisur	0.8673	1.1668	0.2995
Blanco Sinaloa	0.8855	1.1778	0.2923
Hoga-6-20	0.9283	1.2121	0.2838
Hoga-31-16	0.9693	1.2003	0.231
Blanoro	0.9292	1.1487	0.2195
Hoga-23-7	1.0431	1.2569	0.2138

Letras distintas en una misma columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). PA: productividad del agua.

Conclusiones

El desempeño agronómico de los genotipos de garbanzo evaluados estuvo fuertemente influenciado por el ciclo agrícola, el sistema de riego y el material genético. Las líneas experimentales Hoga-23-7 y Hoga-40-12 mostraron ventajas significativas en rendimiento y eficiencia hídrica, posicionándose como alternativas prometedoras frente a las variedades comerciales tradicionales.

El riego deficitario demostró ser una estrategia viable para mejorar la productividad del agua, siempre que se

seleccione el genotipo adecuado, sin embargo, es importante no utilizar esta variable como criterio único de selección de estrategias de irrigación o de genotipos sobresalientes. La interacción significativa entre ciclo y genotipo resalta la importancia de evaluar la estabilidad multianual en programas de mejoramiento.

En conjunto, los resultados del estudio ofrecen evidencia para orientar la selección de materiales adaptados a condiciones de baja disponibilidad hídrica, y fortalecen el diseño de prácticas agronómicas sostenibles en regiones áridas de México.

Literatura citada

- Guía técnica, 2010. Guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental Todos Santos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). LA Paz, Baja California Sur, México. Guía técnica núm. 1. 83-88 pp.
- SAS Institute Inc. (2014). SAS-Statistical Analysis Software for Windows Versión 9.3. Cary, NC. SAS Institute. Inc.
- Singh, G., Ram, H., Aggarwal, N., and Turner, N. (2016). Irrigation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) increases yield but not water productivity. *Experimental Agriculture*, 52(1), 1-13. doi: <https://doi.org/10.1017/S0014479714000520>

COMPORTAMIENTO POBLACIONAL DE NEMATODOS EN ZONAS PRODUCTORAS DE GARBANZO EN LA COSTA DE HERMOSILLO SONORA, MÉXICO

Brenda Zulema Guerrero-Aguilar¹, Pedro Francisco Ortega-Murrieta², Isidoro Padilla-Valenzuela³, Claudia María Melgoza-Villagómez⁴, Milagros Ramirez Soto⁵, Jorge A. Acosta-Gallegos¹

¹Campo Experimental Bajío, ²Campo Experimental Costa de Hermosillo, ³Campo Experimental Norman E. Borlaug, ⁴Sitio Experimental Santo Domingo, ⁵Campo Experimental Valle de Culiacán

Correo de correspondencia: guerrero.brenda@inifap.gob.mx.

Resumen

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en el Noroeste es uno de los cultivos de impacto económico regional, pero su rendimiento se ve severamente limitado por nematodos fitoparásitos. Por lo que este estudio se evaluó su comportamiento poblacional en los suelos de la Costa de Hermosillo, Sonora durante cuatro años: 2019, 2023, 2024 y 2025. En donde se colectaron 12 muestras aleatorias de muestras aleatorias de suelo por año, los nematodos se extrajeron mediante el método de Baermann modificado, cuantificándose y clasificándose en niveles de riesgo. Los resultados mostraron una reducción significativa en las poblaciones para 2023 y 2024, seguida de un incremento drástico en 2025, donde el 42 % del área muestreada presentó alto riesgo (>100 nematodos/100 g de suelo) y un 17% muy alto riesgo (>200 nematodos), superando

ampliamente los umbrales de daño económico establecidos. Los géneros predominantes fueron *Meloidogyne* y *Pratylenchus*. La distribución espacial fue heterogénea, lo que refuerza la necesidad de implementar estrategias de manejo integrado y sitio-específico para mitigar las pérdidas en el rendimiento y prevenir daños económicos significativos.

Palabras clave: *Cicer arietinum* L., *Pratylenchus*, *Fusarium* spp.

Introducción

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) es una leguminosa de gran importancia nutricional y económica en México, particularmente en el noroeste del país, donde el estado de Sonora destaca como principal zona productora. Su cultivo representa una fuente esencial de proteínas y contribuye de manera significativa a la economía local y a la rotación de cultivos en sistemas agrícolas regionales. No obstante, el rendimiento y la sostenibilidad de este cultivo se ven frecuentemente amenazados por factores fitosanitarios, entre los cuales se encuentran los nematodos fitoparásitos, los cuales constituyen uno de los principales limitantes. (Castillo *et al.*, 2018). Diversos fitopatógenos, incluyendo hongos del suelo como el género de *Fusarium* y nematodos, afectan el desarrollo del garbanzo, provocando síntomas como amarillamiento, marchitez y lesiones radiculares, estos síntomas son muy similares con los ocasionados por *Fusarium* y por nematodos (Singh y Sharma, 2002). Entre los nematodos más frecuentes y dañinos se encuentran los géneros *Meloidogyne*

(nematodo agallador), *Pratylenchus* (nematodo lesionador) y, en menor medida, *Helicotylenchus* (Nicol et al., 2011). Estos organismos no solo causan daño directo al sistema radicular, sino que facilitan la entrada de patógenos fúngicos como *Fusarium* spp., complejizando el diagnóstico y el manejo fitosanitario (Back et al., 2002).

La dinámica poblacional de nematodos está influenciada por factores ambientales, prácticas de manejo y características edáficas, lo que resulta en una distribución espacial y temporal altamente variable (Norton, 1978). En regiones como la Costa de Hermosillo, Sonora, existe escasa información actualizada y sistematizada sobre la fluctuación de estas poblaciones, lo que dificulta el diseño de estrategias de control oportunas y efectivas. Por ello, es imprescindible realizar estudios periódicos que permitan caracterizar su comportamiento y establecer bases para un manejo integrado (Jones et al., 2013). El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento poblacional de nematodos fitoparásitos en suelos dedicados al cultivo de garbanzo en el área de Hermosillo, Sonora, durante el periodo 2019-2025, con la finalidad de determinar su distribución espacial, fluctuación temporal y nivel de riesgo asociado, como insumo para el diseño de estrategias de manejo específicas y sostenibles.

Materiales y métodos

Se realizaron muestreos en parcelas comerciales de garbanzo en Hermosillo, Sonora. El muestreo se llevó a cabo en los años 2019, 2023, 2024 y 2025. En cada año, se

colectaron un total de 12 muestras compuestas de suelo aleatorio a una profundidad de 0-30 cm.

Extracción, identificación y cuantificación

Las muestras de suelo se procesaron en el laboratorio, utilizando la técnica de Baermann modificada, manteniendo las muestras en embudo por un tiempo de 48 horas (Southey, 1965). Los nematodos recuperados se recogieron en tubos Falcon de 50 mL, se cuantificaron mediante conteo directo bajo microscopio óptico a 40X de aumento. La identificación a nivel de género se basó en las características morfológicas y morfométricas descritas por Mai y Lyon (1960).

Los criterios de la evaluación de riesgo se basaron en el número total de nematodos fitoparásitos por 100 gramos de suelo, se establecieron las siguientes categorías de riesgo.

Bajo: <50 nematodos

Medio: 50-100 nematodos

Alto: >100 nematodosy

Muy Alto: >200 nematodos

Análisis de los datos

Los datos se tabularon y analizaron de forma descriptiva para determinar la frecuencia porcentual de cada categoría de riesgo por año de muestreo.

Resultados

Los resultados representan una distribución espacial de nematodos en la Costa de Hermosillo para cada año de muestreo. En el Cuadro 1 se aprecia una notable variabilidad de las poblaciones de nematodos. En donde en el año 2019, la distribución del riesgo fue heterogénea, con un 33 % del área en cada categoría de bajo, medio y alto riesgo, y un 17 % en muy alto riesgo. Para los años 2023 y 2024, se observó una mejora significativa en la situación fitosanitaria, con el 75 % del área clasificada en bajo riesgo y solo un 8% en alto riesgo. Sin embargo, en 2025 se registró un recrudescimiento dramático de las poblaciones, en el que el 42 % del área se clasificó como de alto riesgo y el 17 % como de muy alto riesgo, revirtiendo por completo la tendencia favorable de los dos años previos, lo que se atribuye a condiciones ambientales o prácticas agrícolas que favorecen la proliferación de nematodos.

Cuadro 1. Evolución de riesgo en el cultivo de Garbanzo ocasionado por nematodos

Evolución Temporal del Riesgo por Nematodos				
Año	Bajo Riesgo (<50)	Riesgo Medio (50-100)	Alto Riesgo (>100)	Muy Alto Riesgo (>200)
2019	33% (4/12)	33% (4/12)	33% (4/12)	17% (2/12)
2023	75% (9/12)	17% (2/12)	8% (1/12)	0% (0/12)
2024	75% (9/12)	17% (2/12)	8% (1/12)	0% (0/12)
2025	33% (4/12)	25% (3/12)	42% (5/12)	17% (2/12)

Comparación con Umbrales de Daño

Los niveles registrados en 2025 (42% de área con >100 nematodos) superan los umbrales de daño económico establecidos para garbanzo, lo que sugiere pérdidas potenciales significativas en rendimiento si no se implementan medidas de manejo.

Implicaciones para el Manejo

La heterogeneidad espacial detectada justifica un manejo sitio-específico, concentrando esfuerzos en las zonas identificadas como críticas y optimizando recursos en áreas con menor presión de nematodos.

En cuanto a los nematodos, los de mayor predominio en los cuatro años estudiados fueron *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, y en menor frecuencia *Helicotylenchus* sp., lo cual afecta drásticamente al cultivo de garbanzo, en la región, ya que estos parásitos son los causantes de heridas y estrés en el sistema radicular, con el consecuente incremento en la susceptibilidad de las plantas a las infecciones causadas principalmente por el género *Fusarium*.

La alta frecuencia de *Meloidogyne* y *Pratylenchus* en los suelos de la Costa de Hermosillo, explica la alta incidencia y severidad de la fusariosis, enfermedad observada en el campo, incluso con valores intermedios de UFC de *Fusarium*. Además, los síntomas son tan semejantes que se llegan a confundir, por lo cual es importante un manejo integrado para el control de los nematodos fitopatógenos, y evitar pérdidas económicas en el cultivo de garbanzo.



Figura 1. Nematodos encontrados en las muestras de suelo A) *Meloidogyne* sp., B) *Pratylenchus* sp C) *Helicotylenchus* sp.

Conclusiones

La situación actual (2025) es crítica, con el 42% del área muestreada presentando niveles de nematodos que representan alto riesgo para el cultivo de garbanzo.

Se detectó un recrudecimiento dramático de poblaciones de nematodos entre 2024-2025, revirtiendo la tendencia favorable observada en los dos años previos.

La distribución espacial es altamente heterogénea, requiriendo estrategias de manejo diferenciadas por zona dentro de la región productora.

Recomendaciones para productores

Implementar muestreos previos a siembra en sus parcelas.

Establecer rotaciones de cultivo efectivas en zonas críticas
Considerar variedades tolerantes en suelos con historial de altas poblaciones.

Es importante implementar monitoreos continuos y estrategias de manejo integrado para prevenir pérdidas económicas significativas en el cultivo de garbanzo.

Literatura citada

- Back, M.A., Haydock, P.P.J. and Jenkinson, P. (2002) Disease Complexes Involving Plant Parasitic Nematodes and Soil Borne Pathogens. *Plant Pathology*, 51, 683-697.
- Castillo, P., Vovlas, N. y Jiménez-Díaz, R.M. (1998). Pathogenicity and histopathology of *Pratylenchus thornei* populations on selected chickpea genotypes. *Plant Pathology*, 47, 370-376.
- Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G. & Perry, R. N. (2013). Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology*, 14*(9), 946-961.
- Mai, W.F. y Lyon, H.H. (1960). Pictorial key to genera of plant-parasitic nematodes. Comstock Publishing Ithaca, (p 221). New York.
- Nicol, J. M., Turner, S. J., Coyne, D. L., den Nijs, L., Hockland, S., & Maafi, Z. T. (2011). Current nematode threats to world agriculture. In J. Jones, G. Gheysen, & C. Fenoll (Eds.), **Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions** (pp. 21-43). Springer.
- Norton, D.C. (1978) *Ecology of Plant Parasitic Nematodes*. No. 632.65182/N883, Wiley, New York.
- Sharma, S. B., & McDonald, D. (1990). Global status of nematode problems of chickpea, pigeon pea, chickpea, groundnut, and sorghum. In **Plant Nematode Problems and their Control in the Near East Region** (FAO Plant Production and Protection Paper, No. 144). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Singh, K. B., & Sharma, S. B. (2002). **Diseases and insect pests of chickpea**. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
- Southey, J.F. (1965). *Plant nematology*. Technical bulletin no. 7. Great Britain Ministry of Agriculture, Fish and Food, London, England.

POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE BOTANAS DE SORGO ROJO (*Sorghum bicolor* L.) NIXTAMALIZADO ENRIQUECIDAS CON HARINA DE GARBANZO DESI: ÁCIDO FERÚLICO, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTES Y PROTEÍNA

Claudia F. Félix-Buitimea¹, Pedro F. Ortega Murrieta², Génesis V. Buitimea Cantúa³, Elisa Magaña-Barajas⁴, Arlette Santacruz⁵, Jesús E. Gerardo-Rodríguez⁶ Nydia E. Buitimea Cantúa^{6*}

¹Universidad Estatal de Sonora, Navjoa, Sonora, México. ²INIFAP Campo Experimental Costa de Hermosillo, Hermosillo, Sonora.

³Departamento de Nutrición Pública y Salud. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Sonora, México.

⁵Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias.

Monterrey, N.L., México. ⁶Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. nydia.buitimea@unison.mx

Resumen

Las botanas formuladas a partir de harina de maíz han tomado un auge importante en el mundo entero y se caracterizan por ser freídas u horneadas con bajo contenido de proteínas y nutraceuticos. Este trabajo evaluó el efecto de la adición de garbanzo nixtamalizado de la variedad desi (color marrón) en la formulación de harina para botanas a base de harina de sorgo rojo nixtamalizado sobre el contenido de actividad antioxidante, ácidos ferúlico y contenido de proteína. Para la elaboración de harina para botana se nixtamalizaron por separado garbanzo pigmentado color marrón y sorgo rojo con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 1%

(p/p) a 95°C por 42 min, los granos nixtamalizados se dejaron remojar en la solución alcalina por 16 h, después se lavaron los granos y molieron. Las masas se dejaron secar a 60°C/16 h. Posteriormente se molieron y tamizaron (Malla No. 60). Se formularon las harinas para botanas a base de harina de sorgo rojo y garbanzo nixtamalizado con diferentes niveles de sustitución (70:30, 50:50, 30:70) y control. A las botanas se le determinaron el contenido de ácidos fenólicos por el método de HPLC-DAD, actividad antioxidante y contenido de proteína. Las botanas a base de harina de sorgo rojo adicionadas con garbanzo nixtamalizado (30:70) presentaron 1.85 veces mayor contenido de proteína, 3.86 veces de actividad antioxidante y 1.71 veces mayor ácido ferúlico ligado en comparación con el control. Los garbanzos de la variedad desi nixtamalizados se pueden utilizar como ingrediente funcional para formular harina para botanas a base de harina de sorgo rojo nixtamalizado ricas en ácido ferúlico, potencial antioxidante y proteína.

Palabras clave: *Ácido ferúlico, Actividad antioxidante, garbanzos desi.*

Introducción

El proceso de nixtamalización es ampliamente utilizado en México, principalmente en cereales como el maíz, debido a que incrementa la disponibilidad de nutrientes y genera características de calidad en el material que lo hace tecnológicamente adecuado para su procesamiento, sin embargo, también podría ser utilizado para el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) (De la Luz Martínez, et al., 2019). En

paralelo, las leguminosas han sido ampliamente evaluadas como ingredientes para la mejora nutricional de snacks a base de cereales. El garbanzo (*Cicer arietinum*), y en particular la variedad desi, se distingue por su mayor contenido de proteína, fibra dietética y compuestos fenólicos (0.84-6.00 mg/g) con respecto al tipo kabuli (0.02-2.20 mg/g) directamente relacionado a la coloración del grano (Muzquiz y Wood, 2007) frente a otras variedades, lo que lo posiciona como un candidato idóneo para formular productos con mayor contenido proteico y actividad antioxidante (Gómez-Favela *et al.*, 2021).

Los garbanzos desi exhiben diversas propiedades nutraceuticas las cuales se atribuyen a su contenido de ácidos fenólicos como el ácido ferúlico el cual presenta una amplia gama de efectos benéficos para la salud como: exhibición de una alta actividad antioxidante, evitando así el daño oxidativo (Kou *et al.*, 2013; Sánchez, 2020). El garbanzo se ha sido a procesado por extrusión, germinación, cocimiento, tostado y nixtamalización para ser incorporado en diversos alimentos como sopas, pastas, productos de panificación y botanas (De la Luz Martínez, *et al.*, 2019; Boye *et al.*, 2010; Rochin *et al.*, 2015). Las botanas o snacks son los productos más demandados por la población, las cuales se caracterizan porque son alimentos listos para consumirse, dulces o salados, que se consumen entre comidas, por la simple necesidad de comer, por carencia de tiempo para cocinar, por hambre, por antojo, convivencia social y laboral (Rodríguez *et al.*, 2013). Estos productos, aunque de alto consumo, están catalogados

como “chatarra”, sin tomar en cuenta que aportan energía, proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales en mayor o menor proporción. Las botanas se han etiquetado, pero poco se ha hecho por proveer a la población de botanas o snacks con mejor calidad nutrimental, atacando los puntos negativos de estos alimentos (Rodríguez *et al.*, 2013; Fernández-Ibarra *et al.*, 2018).

Durante el año 2020 el consumo anual per cápita de botanas en México alcanzó aproximadamente 7.8 kg en donde las frituras de maíz ocuparon el primer lugar en ventas. De acuerdo con datos del reporte “Industria de Botanas 2021” los mexicanos prefieren botanas de maíz nixtamalizado un 23.2% seguido de las papas fritas con un 22.2 % (Goula, 2021). En estas investigaciones se ha utilizado garbanzos de la variedad kabuli. Actualmente existen pocas investigaciones utilizando garbanzos de la variedad desi por el proceso de nixtamalización para elaborar harina para botanas. El interés en el desarrollo de botanas nutraceuticas con alto contenido de proteína se ha incrementado en los últimos años debido a la importancia de la proteína en la dieta humana, por lo que el garbanzo de la variedad desi representa una alternativa atractiva para incrementar el consumo de proteína y compuestos nutraceuticos (Muzquiz y Wood, 2007). Por lo anterior, se evaluó la incorporación de harina de garbanzo de la variedad desi en la formulación de harina para botanas a base de harina de sorgo rojo nixtamalizado sobre el contenido de actividad antioxidante, ácidos ferúlico y contenido de proteína.

Materiales y métodos

Los garbanzos (*Cicer arietinum* L.) con pigmentación del pericarpio color marrón (CRIL 1-36) y sorgo con pericarpio pigmentado de color rojo fueron donadas por el INIFAP-Campo Experimental Costa de Hermosillo, Sonora. Para la elaboración de harina para botana se nixtamalizó el garbanzo pigmentado color marrón con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 1% (p/p) a 95°C por 42 min. Los granos nixtamalizados se dejaron remojar en la solución alcalina por 16 h, después se lavaron los granos y molieron. Las masas se dejaron secar a 60° C/16 h. Posteriormente se molieron en un molino (Samap Ecosysteme SARL, model F 100, Andolsheim, France) y tamizaron (Malla No. 60). El sorgo rojo fue nixtamalizado siguiendo las mismas condiciones del garbanzo desi. Posteriormente, se formularon las harinas para botanas a base de harina de sorgo rojo y garbanzo desi nixtamalizado con diferentes niveles de sustitución (70:30, 50:50, 30:70) y se mezclaron por 5 min en una mezcladora (AS200, Hobart Corporation, Troy, OH). La harina de sorgo fue usada como control (HS). Las muestras fueron empacadas en bolsas de aluminio y almacenadas a 25°C hasta su uso.

Para la elaboración de botanas nixtamalizadas se utilizaron los siguientes ingredientes: harinas nixtamalizadas y agua. Para la elaboración de botanas nixtamalizadas se siguió la metodología descrita por Estrada *et al.* (2008). Las botanas elaboradas a base de harina de sorgo rojo y garbanzo desi (BSG) con diferentes niveles de sustitución se les realizó un análisis proximal: humedad, cenizas, grasa cruda, proteína y carbohidratos utilizando los métodos de AACC, (2010). La

determinación de proteínas se realizó mediante análisis de combustión utilizando el analizador de nitrógeno LECO FP-528 (LECO Corporation, St Joseph, MI, EE. UU.). También se determinó la actividad del agua (a_w) mediante un analizador Aqua Lab (Decagon Devices, Pullman, Washington, EE. UU.). Los parámetros de color (L, a y b) se determinaron con un colorímetro Minolta (CR 300, Minolta, Japan) (Buitimea *et al.*, 2019). También se les determinó la capacidad antioxidante empleando el método de DDPH (Brand *et al.*, 1995). Se determinó el ácido ferúlico libre y ligado por HPLC-DAD (Buitimea *et al.*, 2023). Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias de los tratamientos se realizó a través de pruebas de Tukey ($P < 0.05$) utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2014). Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

Resultados y discusión

La composición química de las botanas elaborados a base de harina de sorgo rojo adicionadas con diferentes concentraciones de garbanzo de la variedad desi (color de pericarpio marrón) (BSG) se muestra en cuadro 1. Las botanas BSG presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de cenizas, proteínas, grasas y carbohidratos (Cuadro 1). Las botanas BSG-30:70 presentaron significativamente ($P < 0.05$) el mayor contenido de cenizas, proteína, grasa y carbohidratos en contraste con el control. No se observaron cambios significativos ($P > 0.05$) en el contenido de humedad en todas las botanas.

En las botanas BSG-30:70 el mayor contenido de proteína se atribuyó a la concentración de garbanzos marrón. Se ha reportado que los garbanzos desi son una excelente alternativa porque son una gran fuente de proteína (Muzquiz y Wood, 2007). En general, el mayor contenido de cenizas se presentó en la botana BSG-30:70 así como el contenido de carbohidratos. Todas las botanas (BSG) presentaron una actividad de agua (a_w) con valores menores a 0.20 favoreciendo la prevención de la proliferación microbiológica durante el almacenamiento (Hamed *et al.*, 2015).

Las botanas elaboradas a base de harina de sorgo rojo adicionadas con diferentes concentraciones de garbanzo de la variedad desi (color de pericarpio marrón) (BSG) presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los parámetros de color L , a y b (Cuadro 2). Las botanas (BSG-30:70) y control fueron más oscuras ($L > 50.4$ y $L > 50.8$) comparados con la botana BSG-70:30 ($L > 53.3$). La botana (BSG-30:70) presentó una mayor intensidad de coloración rojiza ($a < 7.04$) y amarilla ($b > 11.9$) en contraste con el resto de las botanas, este comportamiento es derivado de las pigmentaciones del pericarpio del garbanzo desi y sorgo rojo. Las antocianinas son los compuestos principales responsables del color rojo final que se observa en las botanas (Buitimea-Cantúa *et al.*, 2020). Los cambios en el parámetro “ b ” podrían estar directamente relacionados con la formación de productos de la reacción de Maillard que se

llevan a cabo durante el proceso de cocimiento y horneado de las botanas (Carrera *et al.*, 2015; Buitimea *et al.*, 2023).

Cuadro 1. Análisis proximal (g/100 g, bs) de botanas formuladas a base de harina de sorgo rojo adicionados con garbanzo de la variedad desi (color marrón).

Botanas	Humedad	Cenizas	Proteína	Grasas	Carbohidratos*
Control	3.80 a	3.00 b	5.01 d	5.31 c	70.95 d
BSG-70:30	4.10 a	3.10 b	6.09 c	5.61 b	72.20 c
BSG-50:50	4.77 a	3.08 b	7.01 b	5.80 b	73.97 b
BSG-30:70	4.92 a	4.36 a	8.90 a	6.77 a	74.72 a

^Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$). Valor medio \pm DE (n-3). *Determinado por diferencia.

Cuadro 2. Parámetros de color de botanas formuladas a base de harina de sorgo rojo adicionados con garbanzo nixtamalizados de las variedades desi (color marrón)

Color			
Botanas	L	a	b
Control	50.8 c	6.1 b	12.5 b
BSG-70:30	53.3 a	5.4 c	13.3 a
BSG-50:50	48.8 d	6.2 b	12.0 c
BSG-30:70	50.4 c	7.4 a	11.9 c

^ Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$). Valor de media \pm DE (n-3). *L = intensidad de color, L = 100 luminosidad, y 0 oscuridad; +a = incremento de rojo, -a = incremento de verde; +b = incremento de amarillo, -b = incremento de azul.

Las botanas (BSG-30:70) fueron más oscuras presentando mayores pigmentaciones rojizas (Cuadro 2). Se ha reportado en la literatura que aquellos componentes que contribuyen al color rojo en el sorgo están principalmente asociados con el pericarpio y la capa de aleurona. Estos compuestos son flavonoides (3-deoxiantocianidinas) como la apigenina y luteolina (Buitimea *et al.*, 2020). Las 3-deoxiantocianidinas son estables en las botanas formulados a base de harina de sorgo y garbanzo desi (color marrón). Estos resultados sugieren que agregar 30% de sorgo rojo nixtamalizado a la harina de garbanzo desi nixtamalizado fue esencial para fabricar botanas con un color rojo natural.

Las botanas (BSG-30:70) presentaron mayor actividad antioxidante (5.70% de Inhibición de Radical DPPH) y ácido ferúlico total (18.2 mg/g, bs) en comparación con el control. Se ha reportado que los garbanzos de la variedad desi poseen una mayor concentración de compuestos fenólicos (0.84-6.00 mg/g) con respecto al tipo kabuli (0.02-2.20 mg/g) directamente relacionado a la coloración del grano (Muzquiz y Wood, 2007; Kou *et al.*, 2013). Además, los garbanzos desi exhiben diversas propiedades nutraceuticas las cuales se atribuyen a su contenido de ácidos fenólicos como el ácido ferúlico el cual presenta una amplia gama de efectos benéficos para la salud como: exhibición de una alta actividad antioxidante, evitando así el daño oxidativo (Kou *et al.*, 2013; Sánchez, 2020). Similarmente, el sorgo rojo es rico en compuestos fenólicos que promueven la salud, tales como los ácidos fenólicos (el ácido ferulico ligado es el más abundante, 90-95%), flavonoides (3-deoxiantocianinas)

(Awika y Rooney, 2004; Buitimea *et al.*, 2018; Buitimea *et al.*, 2020). Los garbanzos nixtamalizados de color marrón de la variedad desi se pueden utilizar como ingrediente funcional para formular harina para botanas a base de harina de sorgo rojo ricas en ácido ferúlico ligado, potencial antioxidante y proteína. Estas botanas podrían ser atractivas para los consumidores preocupados por su salud que desean un producto de apariencia natural y con potencial nutraceutico.

Conclusiones

Las botanas a base de harina de sorgo rojo adicionadas con garbanzo nixtamalizado (30:70) presentaron 1.85 veces mayor contenido de proteína respecto al control.

Las botanas (30:70) presentaron 3.86 veces mayor actividad antioxidante y 1.71 veces ácido ferúlico ligado en comparación con el control.

Los garbanzos de la variedad desi nixtamalizados se pueden utilizar como ingrediente funcional para formular harina para botanas a base de harina de sorgo rojo nixtamalizado ricas en ácido ferúlico, potencial antioxidante y proteína.

Estas botanas podrían ser atractivas para los consumidores preocupados por su salud que desean un producto de apariencia natural y con potencial nutraceutico.

Literatura citada

- AOAC. (2010). Association of Official Analytical Chemist.
- Awika, J. M., Rooney, L. W., & Waniska, R. D. (2004). Properties of 3-deoxyanthocyanins from sorghum. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(14), 4388-4394.
- Brand W. W., Cuvelier M.E. y Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie/Food Science and Technology*. 28:25-30.
- Buitimea C. N. E., Torres C. P. I., Ramírez W. B., Ledesma O. A. I., Gutiérrez U. J. A., Serna G. D. A. y Serna S. S. O. 2018. Ferulic, p-coumaric, diferulic and triferulic acids contents of corn tortillas prepared with extruded corn flour and enriched with sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) bran. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 12:1633-1640.
- Buitimea C. N. E. y Serna S. S. O. 2020. Effect of processing on the hydroxycinnamic acids, flavones, and cellular antioxidant activity of tortillas supplemented with sorghum bran. *Cereal Chemistry*. 97(2): 382-393.
- Buitimea C. N. E., Antunes R. M., Acosta E. B. A. y Gutiérrez U. J. A. 2023. Effect of Storage Time on the Hydroxycinnamic Acids Profile, Cellular Antioxidant Activity, and Anti-Inflammatory Potential of Roasted Maize-Based Beverages Supplemented with Nejayote Solids from Different Maize Genotypes Efecto del Tiempo de Almacenamiento Sobre el Perfil de Ácidos. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. 15(30).
- De la Luz Martínez, K. A., Romero-Flores, M. A., De la Paz Salgado-Cruz, M., Calderón-Domínguez, G., de Jesús Cortés-Sánchez, A., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A., Díaz-Ramírez, M. (2019). Acondicionamiento de garbanzo (*Cicer arietinum*) por el proceso de nixtamalización para la obtención de harina utilizada en la elaboración de pan de caja. *Agro Productividad*, 12(11).
- Estrada, B. C., Carrillo, G. V., Morales, B. T., & Moreno, Y. S. (2008). Calidad de grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza comiteco. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3), 9-14.
- Fernández Ibarra R, García Guerrero D, de la Rosa Millán J, Chávez Murillo C. (2018). Botanas de Harina de Maíz Nixtamalizado y Hortalizas:

Caracterización Nutricional Parcial. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3: 436-440

- Goula, 2021. Pandemia y etiquetado no hicieron ni cosquillas a las botanas en México. Fecha de consulta: abril 2022. Recuperado de: [https://goula.lat/pandemiay-etiquetado-no-hicieron-ni-cosquillas-a-las-botanas-enmexico/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20datos%20del,de%20frutos%20secos%20\(12.9%25\)](https://goula.lat/pandemiay-etiquetado-no-hicieron-ni-cosquillas-a-las-botanas-enmexico/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20datos%20del,de%20frutos%20secos%20(12.9%25).).
- Hamed A., Ragaee S., Marcone M. y Abdel-Aal E.S.M. 2015. Quality of bread and cookie baked from frozen dough and batter containing β -glucan-rich barley flour fraction. *Journal of Food Quality*. 38(5):316-327.
- Kou X., Gao J., Xue Z., Zhang Z., Wang H. y Wang X. 2013. Purification and identification of antioxidant peptides from chickpea (*Cicer arietinum* L.) albumin hydrolysates. *Food Science and Technology*. 50:591-598.
- Muzquiz M. y Wood J. A. 2007. Antinutritional factors. In *Chickpea breeding and management* (pp.143-166). Wallingford UK: CABI.
- Rodríguez, K. Y. A., Cabrera, L. E. P., & Rosas, F. B. 2013. Tendencias en la elaboración de botanas de maíz. *Avances deficiencia y tecnología alimentaria en México*. Plaza y Valdés Editores, Pp. 425.
- SAS Institute Inc. 2014. SAS-Statistical Analysis Software for Windows Versión 9.3. Cary, NC. SAS Institute. Inc.

VALIDACIÓN DE GENOTIPOS DE GARBANZO TIPO KABULI

Carlos Iván Cota-Barreras¹, Milagros Ramirez-Soto¹, Jaime Neftalí Marquez-Godoy¹, Obed Gabriel Gutierrez-Gutierrez¹, Jesús Perez-Marquez¹, Claudia María Melgoza-Villagomez², Pedro Francisco Ortega-Murrieta³.

¹Campo Experimental Valle de Culiacán. INIFAP. Culiacán, Sinaloa. ²Campo Experimental Todos Santos, La Paz, Baja California Sur, ³Campo Experimental Costa de Hermosillo, Hermosillo, Sonora.
cota.carlos@inifap.gob.mx.

Resumen

Existen dos principales tipos de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) Desi y Kabuli, que se pueden distinguir por su tamaño, forma y el color de las semillas. La semilla tipo Kabuli es más grande que el tipo Desi, redondas y de color crema. En el Noroeste de México, el mejoramiento de garbanzo se enfoca en desarrollar variedades de alto rendimiento y tamaño de grano grande para su exportación. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue validar seis genotipos de garbanzo tipo Kabuli en el CEVACU. Durante el ciclo agrícola 2023-2024, se estableció una parcela de validación con seis genotipos de garbanzo en las instalaciones del CEVACU – INIFAP. La siembra se realizó el 17 de noviembre de 2023 en húmedo con sembradora de precisión. Las variables evaluadas fueron rendimiento, porcentaje de exportación y calibre de grano. CUGA-09 2002 y Jumbo-2010 presentaron mayor rendimiento con

valores de 2,633.0 y 2,570.5 kg ha⁻¹. El porcentaje de exportación presentó diferencia significativa, siendo Jumbo-2010 y Sinalomex-2018 las que presentaron valores de 98.5% para ambas variedades. La variable de calibre presentó diferencia significativa, siendo el genotipo Sinalomex-2018 diferente al resto de los genotipos evaluados, con un valor de 37.5. Los genotipos con mejor comportamiento con base en rendimiento fueron CUGA-09 y Jumbo-2010. En el caso del porcentaje de exportación Jumbo-2010 y Sinalomex-2018 presentaron los valores altos y finalmente para calibre los genotipos sobresalientes fueron CUGA-08 3168 y Combo-743. Estos genotipos superaron en las diferentes variables al testigo comercial Blanco Sinaloa '92.

Palabras clave: *Cicer arietinum*, producción, calidad.

Introducción

En 2023, México se ubicó octavo lugar como productor de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) a nivel mundial, siendo Sinaloa, Michoacán, Sonora, Guanajuato y Baja California Sur los principales estados productores de esta leguminosa (SIAP, 2024). Es la única especie del género *Cicer* cultivada y es originaria del Este de Turquía (Fierros *et al.*, 2019). Tiene la capacidad de aumentar la fertilidad del suelo, particularmente en tierras áridas, al fijar el nitrógeno atmosférico (Jendoubi *et al.*, 2017). El mercado internacional del garbanzo es muy activo debido al valor nutricional del cultivo, fuente de proteína económica en países en desarrollo, posee 20- 25 % de proteína (Kumari *et al.*, 2023), bajo en grasa y sodio, no contiene colesterol y es una

excelente fuente de fibra soluble e insoluble, así como complejos de carbohidratos, vitaminas, ácido fólico y minerales, especialmente calcio, fósforo, hierro y magnesio (Jendoubi *et al.*, 2017).

Existen dos principales tipos de garbanzo, Desi y Kabuli, que se pueden distinguir por su tamaño, forma y el color de las semillas. El tipo Kabuli la semilla es más grande, redondas y de color crema, que se siembran principalmente en el Norte de África, Asia occidental, América del Norte y Europa (Nisa *et al.*, 2020), así mismo, se considera más importante económicamente, ya que alcanza un mayor precio en el mercado que el tipo Desi (Jendoubi *et al.*, 2017). Actualmente, el mercado de exportación exige variedades de grano de color crema claro a blanco, rugosidad y calibres que van desde 40-42 hasta 50-52 semillas en 30 gramos, además de, mejor calidad, cantidad de grano y alto rendimientos de cosecha (Romero *et al.*, 2014). En el Noroeste de México, el mejoramiento se ha enfocado en desarrollar variedades de alto rendimiento y tamaño de grano grande para su exportación. Se estima que alrededor del 95% de la superficie nacional destinada al garbanzo, se siembra con variedades generadas en el país (Anaya-López *et al.*, 2021). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue validar seis genotipos de garbanzo tipo Kabuli dentro del Campo Experimental Valle de Culiacán.

Materiales y métodos

Durante el ciclo agrícola 2023-2024, se estableció una parcela de validación en instalaciones del Campo

Experimental Valle de Culiacán – INIFAP, localizado en las coordenadas 24.630167 latitud norte y -107.442881 longitud oeste, a 23 msnm. Se establecieron los genotipos de garbanzo tipo Kabuli de los cuales cuatro fueron variedades y dos líneas avanzadas (Blanco Sinaloa '92, Jumbo-2010, Combo-743, Sinalomex-2018, CUGA-09 2002 y CUGA-08 3168). La siembra se realizó el 17 de noviembre de 2023 en húmedo con sembradora de precisión. La densidad de siembra fue de 12 plantas por metro. Las parcelas fueron 8 surcos de 50 m de longitud y 0.75 m de ancho a hilera sencilla (300 m²), bajo un diseño completamente al azar. Se consideró una parcela útil de 7.5 m² con cuatro repeticiones por variedad. Se fertilizó con la fórmula 150-50-00 (NPK), durante el desarrollo del cultivo no se aplicó riegos de auxilio. Las variables evaluadas fueron rendimiento en kilogramos por hectárea (kg ha⁻¹), porcentaje de exportación (%) que se determinó por la relación (rendimiento de exportación/rendimiento de origen) x 100 y el calibre de grano, el cual se obtuvo mediante el conteo del número de semillas presentes en 30 gramos. Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey (P < 0.05).

Resultados y discusión

Con base en el análisis estadístico, la variable de rendimiento no mostró diferencia significativa (P < 0.05), siendo CUGA-09 2002 y Jumbo-2010 los genotipos que numéricamente presentaron mayor rendimiento con valores de 2,633.0 y 2,570.5 kg ha⁻¹, respectivamente.

Referente a la variable de porcentaje de exportación si presentó diferencia significativa ($P < 0.05$), siendo Jumbo-2010 y Sinalomex-2018 las que presentaron valores altos con 98.5% en ambas variedades. La variable de calibre si presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) siendo el genotipo Sinalomex-2018 diferente al resto de los genotipos evaluados, con un valor de 37.5 para esta variable (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados de rendimiento, porcentaje de exportación y calibre de grano en diferentes genotipos de garbanzo tipo Kabuli.

Genotipos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Exportación (%)	Calibre (No. De grano/30 g)
Blanco Sinaloa '92	2,476.8 ^a	96.5 ^{ab}	39.5 ^{ab}
Jumbo-2010	2,570.5 ^a	98.5 ^a	44.0 ^a
Combo-734	2,481.5 ^a	97.5 ^a	39.3 ^{ab}
Sinalomex-2018	2,237.8 ^a	98.5 ^a	37.5 ^b
CUGA-09 2002	2,633.0 ^a	95.0 ^b	44.0 ^a
CUGA-08 3168	2,278.5 ^a	98.0 ^a	41.0 ^{ab}

^{abc}: literales diferentes en columna representan diferencias estadísticas ($P < 0.05$).

Sauceda *et al.* (2018) evaluaron 12 genotipos de garbanzo, dentro de los cuales incluyeron a Blanco Sinaloa '92 y Jumbo-2010, obteniendo resultados para las variables anteriormente mencionadas de 2.88 y 2.64 t ha⁻¹ para rendimiento, 96.2 y 92.6 para porcentaje de exportación, mientras que para calibre fueron 45.7 y 45.5, respectivamente; estos resultados en el caso de rendimiento son superiores a los presentados por estos dos

genotipos en el presente trabajo, mientras que para el porcentaje de exportación obtuvieron mejores resultados los genotipos evaluados en el presente estudio comparados a los mencionados en el estudio anterior; finalmente referente a calibre ambos genotipos del presente estudio presentaron un mayor calibre. Fierros-Leyva *et al.* (2021) evaluaron nueve genotipos de garbanzo (ocho líneas avanzadas y una variedad) desarrolladas en el Campo Experimental Valle de Culiacán en un sistema de riego por goteo en Hermosillo, Sonora; estas líneas avanzadas presentaron rendimientos desde 1.94 hasta 2.81 t ha⁻¹, porcentajes de exportación desde 24 hasta 83%, y calibre desde los 43 hasta 57. Comparado con los valores obtenidos por las líneas evaluadas en el presente estudio, estas presentaron rendimientos similares por arriba de los 2,000 kg ha⁻¹, mientras que para porcentaje de exportación las líneas evaluadas en este estudio fueron superiores a las líneas evaluadas en Hermosillo; finalmente para calibre en ambos estudios las líneas presentaron valores similares.

Conclusiones

Los genotipos con mejor comportamiento con base en rendimiento fueron CUGA-09 y Jumbo-2010 con valores de 2,633.0 y 2,570.5 kg ha⁻¹. En el caso del porcentaje de exportación Jumbo-2010 y Sinalomex-2018 presentaron los valores altos de 98.5% y finalmente a calibre los genotipos sobresalientes fueron CUGA-08 3168 y Combo-743. Estos genotipos superaron en las diferentes variables al testigo comercial Blanco Sinaloa '92.

Literatura citada

- Anaya-López, JL., Ibarra-Pérez, FJ., Rodríguez-Cota, FG., Ortega-Murrieta, PF., Chiquito-Almanza, E. y Acosta-Gallegos, JA. 2021. Leguminosas de grano en México: variedades mejoradas de frijol y garbanzo desarrolladas por el INIFAP. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 25: 63-75.
- Fierro, M., Palmieri, D., De Curtis, F., Vitullo, D., Rubio, J., Gil, J., Lima, G. and Milla, T. 2019. Genetic and agronomic characterization of chickpea landraces for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. *Phytopathologia Mediterranea* 58(2): 239-248.
- Fierros-Leyva, GA., Valenzuela-Herrera, V., Ortega-Murrieta, P. F., Acosta-Gallegos, J. A y Padilla-Valenzuela, I. 2021. Rendimiento y calidad de grano de ocho líneas avanzadas de garbanzo blanco desarrolladas en el valle de Culiacán, Sinaloa. *Memoria Simposio Nacional de Garbanzo. Memoria Científica No 20. INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora. 89-91.*
- Jendoubi, W., Bouhadida, M., Boukteb, A., Béji, M and Kharrat, M. 2017. Fusarium Wilt Affecting Chickpea Crop. *Agriculture* 7(3): 23. <https://doi.org/10.3390/agriculture7030023>.
- Kumari, P., Gupta, RN., Srivastava, JN., Sah, SB. and Managanvi, K. 2023. Evaluation of disease reaction, yield attributes and yield of chickpea germplasm. *Agricultural Mechanization in Asia* 54(4): 12971-12980.
- Nisa, ZU., Arif, A., Waheed, MQ., Shah, TM., Iqbal, A., Siddiqui, AJ., Choudhary, MI., El-Seedi, HR. and Musharraf, SG. 2020. A comparative metabolomic study on desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under rainfed and irrigated field conditions. *Scientific Reports* 10: 13919. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70963-6>.

- Romero, BAL., Barrón, HJM., Falcón, VMR. y Anduaga, CR. 2014. Evaluación de la calidad comercial y tecnológica de variedades y líneas avanzadas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) cosechadas en el noroeste de México. *Biotecnia* 16(1): 7-14.
- Sauceda, ARH., Rodríguez, CFG., Cortez, ME., Padilla, VI. y Velarde, FS. 2018. Evaluación de garbanzo blanco en el norte de Sinaloa. XXI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Mexicali, Baja California, México. 860-864.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Panorama Agroalimentario – La ruta de la Transformación Agroalimentaria 2018-2024. Agricultura. Consultado el 17 de julio de 2025.

ESTUDIO EXPLORATORIO: BROWNIES FUNCIONALES A BASE DE HARINA DE GARBANZO (*Cicer arietinum* L.) - BETABEL (*Beta vulgaris* L.).

Andrea P. López-Olvera¹, Zaid Jacobo-Ríos¹, Jaime Mada-Ainza¹, Elisa Magaña-Barajas^{*2}, Nydia E. Buitimea Cantúa³

¹Estudiante de Ingeniería en Tecnología de Alimentos, Universidad Estatal de Sonora. ² Programa de Ingeniería en Tecnología de Alimentos, Maestría y Doctorado en Ciencias Ambientales. Universidad Estatal de Sonora. ³Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora. [*elisa.magana@ues.mx](mailto:elisa.magana@ues.mx)

Resumen

Ante la creciente demanda de alimentos saludables, se elaboraron brownies enriquecidos con ingredientes funcionales como alternativa nutritiva. Tradicionalmente altos en azúcares y grasas, estos productos permiten incorporar harinas y vegetales con propiedades bioactivas. Se empleó harina de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), fuente de proteína, fibra y minerales, junto con betabel (*Beta vulgaris* L.), rico en betalaínas y compuestos fenólicos con efectos antioxidantes y antiinflamatorios. El objetivo de la investigación fue explorar la elaboración de un brownie a base de harina de garbanzo y betabel, desde el punto de vista de proceso y comercial. Para lograr el objetivo se probaron tres formulaciones empleándose como base de 100 % la mezcla de harina de garbanzo con pasta de betabel, a la cual se adicionó 8.85 % cocoa en polvo, 1.00 %

bicarbonato de sodio, 0.60 % de sal, 0.87 % esencia de vainilla, 25.00 % azúcar, 26.00 % huevo, 8.31 % chispas de chocolate y 15.00 % aceite (soya, canola ó coco) que se compararon con un brownie comercial. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos (°Brix, pH, humedad y ceniza), se realizó un análisis de FODA y estudio preliminar de mercado. Los resultados indicaron que sustituir la harina de trigo por harina de garbanzo y pasta de betabel redujo sus niveles de azúcar (3.4 °Brix) sin alterar el sabor ni la textura, contribuyendo a la panificación funcional y la promoción de estilos de vida saludables. El tratamiento más aceptado por los evaluadores fue el brownie elaborado con aceite de canola. El rango de costo de las formulaciones propuestas fue de \$28.00-\$35.00 por pieza.

Palabras clave: *brownie, garbanzo, betabel, funcional, aceite vegetal.*

Introducción

La repostería tradicional, como los brownies elaborados con harinas refinadas, presenta un perfil nutricional limitado, caracterizado por bajo contenido de proteína y fibra y alto en carbohidratos simples. Este tipo de formulaciones se asocia con un consumo excesivo de azúcares y harinas refinadas, lo cual ha contribuido al incremento de enfermedades crónico-degenerativas como obesidad y diabetes mellitus tipo 2 (Vázquez-Carrillo et al., 2021). La incorporación de ingredientes alternativos como la harina de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) ofrece ventajas nutricionales significativas, ya que aporta cerca de 20 g de proteína y 10 g de fibra por cada 92 g de producto, además

de minerales esenciales como hierro, fósforo y magnesio. Asimismo, se ha demostrado que el consumo de harina de garbanzo mejora la calidad proteica de productos de panificación y puede contribuir a la reducción del colesterol LDL y total (Gómez-Fernández et al., 2019). Por su parte, el betabel (*Beta vulgaris* L.) es una fuente importante de compuestos bioactivos, entre los que destacan los polifenoles y las betalaínas, con actividad antioxidante y antiinflamatoria documentada. Estos compuestos no solo aportan beneficios a la salud, sino que también pueden mejorar la estabilidad oxidativa de productos horneados, favoreciendo su conservación (Clifford et al., 2015). En este sentido, la formulación de brownies a base de harina de garbanzo y betabel busca enriquecer el valor nutricional de un producto de repostería tradicional, al mismo tiempo que responde a la creciente demanda de los consumidores por alimentos funcionales, libres de gluten y con ingredientes naturales que aporten beneficios adicionales para la salud (Rojas-Rivas et al., 2021). El presente proyecto es relevante porque propone una alternativa de repostería más saludable mediante la incorporación de harina de garbanzo y betabel en brownies. Esta formulación permite aumentar el contenido de proteína y fibra, así como agregar compuestos bioactivos con actividad antioxidante, contribuyendo al bienestar de los consumidores (Clifford et al., 2015; Gómez-Fernández et al., 2019). Desde un enfoque tecnológico, explorar la interacción de harinas alternativas y betabel en productos horneados proporciona información sobre su efecto en la textura, color, estabilidad oxidativa y vida útil. Este conocimiento puede aplicarse en la industria

alimentaria para desarrollar productos con características sensoriales atractivas y mayor durabilidad (Kujala et al., 2000). En la perspectiva comercial, existe un interés creciente por productos que combinen sabor, valor nutricional y calidad sensorial. Los brownies enriquecidos con harina de garbanzo y betabel ofrecen una alternativa diferenciada frente a los productos tradicionales, respondiendo a la demanda de consumidores que buscan opciones más nutritivas sin comprometer el sabor (Rojas-Rivas et al., 2021).

Materiales y Métodos

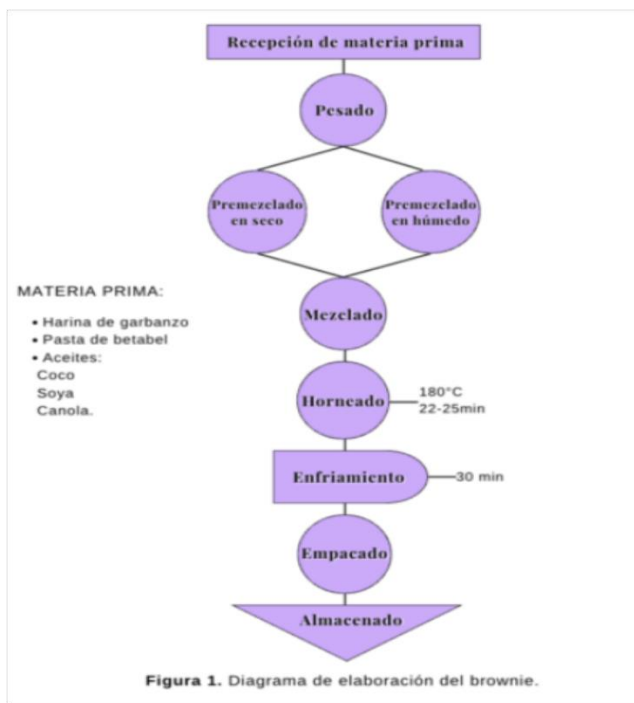
Materia prima. Para elaborar los brownies se emplearon insumos adquiridos en el comercio local: Cocoa en polvo (Hershey´s), bicarbonato de sodio (Arm & Hammer), Polvo para hornear (Royal), Sal (La fina), harina de garbanzo (Just About Foods), Azúcar (Aurrera), betabel fresco, huevo (Bachoco), esencia de vainilla (El Papantla), chispas de chocolate (Hershey´s), aceite de coco (San Lucas), aceite de soya (Great Value) y aceite de canola (Canoil). Todos fueron trasladados y almacenados en condiciones adecuadas en el laboratorio de alimentos de la Universidad Estatal de Sonora, unidad Hermosillo.

Formulaciones. Se emplearon tres formulaciones donde la variable fue el tipo de aceite empleado en cada una de ellas, las proporciones de cada insumo se mantuvieron constantes, se consideró la base de 100 % a la mezcla de harina de garbanzo con pasta de betabel, a la cual se adicionó 8.85 % cocoa en polvo, 1.00 % bicarbonato de sodio, 0.60 % de sal, 0.87 % esencia de vainilla, 25.00 % azúcar, 26.00

% huevo, 8.31 % chispas de chocolate y 15.00 % aceite (soya, canola ó coco). Estas se compararon con el brownie comercial, el cual denotaremos como la cuarta formulación.

Proceso. Pretratamiento: Pasta de betabel. Primeramente, se desinfectó, peló y cortó en trozos homogéneos el betabel para posteriormente colocarlo en cocción por inmersión durante aproximadamente 30 min a 160-180 °C. Estos se dejaron enfriar a temperatura ambiente a lo largo de 20 min. Los trozos de betabel se introdujeron en un procesador de alimentos hasta que se obtuvo una pasta que se colocó en un recipiente y cubrió con parafilm hasta su uso.

En la Figura 1 se muestra el proceso de elaboración de brownie establecido, donde se muestra que este comienza desde la recepción de la materia prima hasta el almacenamiento.



Evaluaciones

Se realizaron evaluaciones fisicoquímicas de pH, °Brix y acidez (disoluciones 1:10, procedimiento del equipo), humedad y cenizas (métodos 44-40 y 08-03, A.A.C.C (2009)). El análisis FODA, el estudio de mercado y el cálculo de costos se desarrollaron de forma teórica con base en metodologías descritas en la literatura (Barrueto-Pérez, 2024; Salgado y Awad, 2022).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de las evaluaciones fisicoquímicas de las formulaciones empleadas. Se puede observar que el rango de valores de cenizas del M1 al M3 fue de 4.85 a 6.68% mientras que el del

M4 (brownie comercial) fue menor (4.20%). Esto puede deberse a las diferencias en las formulaciones, especialmente que las de este estudio emplearon harina de garbanzo y pasta de betabel en lugar de harina de trigo. La literatura señala que la harina de garbanzo posee un contenido mineral considerablemente mayor que el de la harina de trigo, reportándose valores de ceniza de hasta 4.86% (Saeed et al., 2023).

Asimismo, se ha demostrado que su adición eleva el contenido de cenizas y otros componentes minerales en productos de panificación y derivados (Benayad et al., 2022). Con respecto a los °Brix se observó un valor más alto para la muestra comercial M4 (71.66) comparado con el promedio de las M1-M3 (3,47) indicando que las formulaciones propuestas tienen un menor contenido de azúcares libres disueltos, logrando con ello parte del objetivo de la investigación, siendo acorde a tendencias actuales hacia productos funcionales y con menor contenido de azúcares. Este comportamiento puede explicarse dado que la harina de garbanzo posee una menor proporción de azúcares simples disponibles, y podría traducirse en un índice glucémico más bajo y una respuesta glicémica más moderada. Estudios recientes han demostrado que la sustitución parcial o total de harina de trigo con harina de garbanzo en productos de panadería reduce la rápida disponibilidad de carbohidratos, lo que favorece una carga glucémica más controlada (Sidhu et al., 2024; Arif et al., 2025).

Además, se podría disminuir el riesgo de efectos negativos asociados al consumo excesivo de azúcares simples, al tiempo que se aprovechan otros componentes funcionales del garbanzo, como su proteína, fibra y compuestos bioactivos (Felisiak et al., 2024). Sin embargo, esta baja en la dulzura no afectó la palatabilidad del producto. Con respecto a los valores de pH el más bajo se registró en la muestra comercial M4 (7,14) mientras el promedio de las muestras M1-M3 fue más elevado (8,31).

Diversos autores han señalado que la harina de garbanzo tiende a presentar valores de pH más altos debido a su composición proteica y mineral (Saeed et al., 2023), lo que puede incrementar ligeramente la alcalinidad de las formulaciones. Asimismo, la sustitución parcial de harinas tradicionales por harinas leguminosas modifica el comportamiento químico de las matrices alimentarias, incluidas sus propiedades ácido-base (Benayad et al., 2022).

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos en brownies elaborados con distintos aceites.

Muestra	Ceniza*(%)	°Brix*	pH*
M1	5.10 ± 0.32	3.40 ± 0.10	8.60 ± 0.05
M2	4.85 ± 0.20	3.73 ± 0.12	7.90 ± 0.07
M3	6.68 ± 0.28	3.30 ± 0.08	8.44 ± 0.04
M4	4.20 ± 0.25	71.66 ± 0.20	7.14 ± 0.08

*Media ± desviación estándar. M1: Con aceite de coco, M2: Con aceite de canola, M3: Con aceite de soya, M4: Brownie comercial.

El análisis FODA permitió identificar los factores clave para el desarrollo y posicionamiento del brownie funcional. Entre las fortalezas destaca que es un producto libre de gluten, con alto contenido de fibra, proteína vegetal y compuestos bioactivos, propiedades reportadas en la harina de garbanzo y otros ingredientes funcionales (Saeed et al., 2023). Su sabor distintivo y el color natural aportado por la pasta de betabel representan elementos sensoriales diferenciadores. Las oportunidades se relacionan con la creciente demanda de alimentos funcionales y saludables, tendencia descrita ampliamente en el comportamiento reciente del consumidor (Granato et al., 2020), así como con el aumento del interés por productos veganos, fitness y de nicho gourmet.

Entre las debilidades se identifican posibles variaciones en la aceptación sensorial, aspectos comunes en productos libres de gluten y formulados con harinas alternativas (Matos y Rosell, 2015). También puede requerirse mayor educación del consumidor sobre sus beneficios nutricionales. En cuanto a amenazas, se reconoce la competencia en el mercado saludable y la fluctuación en precios de ingredientes funcionales, lo cual influye directamente en la viabilidad económica de productos innovadores (Augustin et al., 2016).

El análisis de mercado muestra tendencias que favorecen este tipo de producto, como el crecimiento del mercado sin gluten y la preferencia por alimentos basados en proteínas vegetales, ambos en expansión global (Markets y Markets, 2021). La segmentación indica que el brownie puede

dirigirse a consumidores orientados al bienestar, deportistas y al mercado gourmet, segmentos que valoran ingredientes naturales y productos con valor agregado nutricional (Asioli et al., 2017). La competencia incluye brownies tradicionales, productos saludables emergentes y snacks alternativos. La ventaja competitiva del producto radica en su perfil funcional y libre de gluten, así como en sus características sensoriales diferenciadas. Los canales de comercialización incluyen venta directa, comercio electrónico y alianzas con cafeterías o tiendas especializadas en productos saludables.

Los canales de comercialización incluyen venta directa, e-commerce, alianzas con cafeterías y distribución local en tiendas saludables. Entre las oportunidades de diferenciación destacan el aporte de fibra, proteína y antioxidantes, el color natural del betabel y la posibilidad de ofrecer diversas presentaciones orientadas a distintos nichos de consumo. Respecto a los precios, los brownies tradicionales oscilan entre \$15 y \$20 MXN, mientras que los saludables se ubican entre \$25 y \$40 MXN. Un rango sugerido para el producto es de \$28 a \$35 MXN (valores calculados de precios de insumos del comercio local), respaldado por su valor nutricional y diferenciación.

Los productos saludables suelen tener mayor valor percibido por su aporte funcional y calidad de ingredientes, tendencia descrita en estudios de disposición a pagar en alimentos innovadores (Asioli et al., 2017). Entre las oportunidades de diferenciación destacan el aporte de fibra, proteína vegetal y antioxidantes, además del color

natural del betabel y la posibilidad de ofrecer múltiples presentaciones.

Conclusión

Los valores fisicoquímicos de las muestras propuestas presentaron un 30 % más cenizas, y veinte veces menor de azúcares libres, así como valores de pH consistentes con lo reportado para matrices elaboradas con leguminosas. Esto evidencia que la sustitución de harina de trigo por la mezcla de harina de garbanzo con pasta de betabel permite obtener brownies con propiedades fisicoquímicas mejoradas y un perfil nutricional más favorable.

El análisis de mercado y de costos indicó que el producto es económicamente viable (\$32.00 promedio) y presenta potencial de posicionamiento en mercados orientados a alimentos funcionales y libres de gluten. Se recomienda profundizar en estudios de vida útil, aceptación sensorial con consumidores, comportamiento reológico y evaluación del índice glucémico, con el fin de fortalecer la base científica necesaria para su escalamiento tecnológico y comercial.

Literatura Citada

- A.A.C.C. 2009. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* (11th ed.). American Association of Cereal Chemists.
- Arif, M. R., Ali, S. W., Khan, A. A., and Nida, S. 2025. A review on gluten-free and low-glycemic index bakery products: Formulation, nutritional composition and health benefits. *Food Research*. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07153-4>
- Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Næs, T., and Varela, P. 2017. Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and

- discussion of industry implications. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.010>
- Augustin, M. A., Riley, M., Stockmann, R., Bennett, L., Kahlon, T. S., Lockett, T., and Cobiac, L. 2016. Role of food processing in food and nutrition security. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.005>
- Barrueto-Pérez, M. T. 2024. Impacto de los costos estratégicos en la sostenibilidad empresarial de las PYMEs mediante una revisión bibliográfica. *Revista Científica en Ciencias Sociales*, 6, e601120. <https://doi.org/10.53732/rccsociales/e601120>
- Benayad, A., Zine, N., Saidi, N., Hanine, H., and Aadil, R. M. 2022. Addition of chickpea flour in durum wheat flour makes tortilla more nutritious and technologically acceptable. *Foods*, 12(1), 72. <https://doi.org/10.3390/foods12010072>
- Clifford, T., Howatson, G., West, D. J., and Stevenson, E. J. 2015. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, 7(4), 2801–2822. <https://doi.org/10.3390/nu7042801>
- Felisiak, K., Przybylska, S., Tokarczyk, G., Tabaszewska, M., Słupski, J., and Wydurska, J. 2024. Effect of *Cicer arietinum* L. (chickpea) flour incorporation on quality, antioxidant properties, and bioactive compounds of shortbread cookies. *Foods*, 13(15), 2356. <https://doi.org/10.3390/foods13152356>
- Gómez-Fernández, A., Cárdenas-Castro, A., and García-Mora, P. 2019. Effect of chickpea flour incorporation on nutritional and sensory properties of bakery products. *Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1861–1869. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03677-3>
- Granato, D., Barba, F. J., Kovačević, D. B., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., and Putnik, P. 2020. Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Current Opinion in Food Science*, 33, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.09.001>
- Kujala, T. S., Vienola, M. S., Klika, K. D., Törrönen, A. R., and Heinonen, I. M. 2000. Betalain and phenolic compositions of four beetroot (*Beta vulgaris*) cultivars. *European Food Research and Technology*, 214(6), 505–510. <https://doi.org/10.1007/s002170000252>

- Markets and Markets. 2021. *Gluten-free products market—Global forecast to 2026*. Markets & Markets.
- Matos, M. E., Rosell, C. M. 2015. Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(10), 2055–2063. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6947>
- Rojas-Rivas, E., Espinoza-Ortega, A., Thomé-Ortiz, H. 2021. Food trends and consumer preferences for healthy bakery products in Latin America. *British Food Journal*, 123(10), 3312–3326. <https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2020-1123>
- Saeed, S. M. G., Khan, A. A., Ali, A., Anjum, F. M., Saeed, F., Arshad, M. S., Hussain, M., and Imran, M. 2023. Techno-functional, antioxidants, microstructural and thermal properties of germinated chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour. *Journal of Food Biochemistry*, 47(6), e14603. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2242602>
- Salgado, D., and Awad, G. 2022. Metodología para el análisis estratégico cuantitativo en proyectos a partir del análisis de riesgos. *Estudios Gerenciales*, 38(165), 424–435. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2022.165.5198>
- Sidhu, J. S., et al. 2024. Effect of substitution of wheat flour with chickpea flour on digestibility and glycemic response. *Agricultural Journal of Social Research*. [DOI pendiente]
- Vázquez-Carrillo, G., Santiago-Ramos, D., and López, A. 2021. Nutritional challenges in bakery products: Excess sugars and refined flours. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), 245–258. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2674>

Agradecimientos

El Comité Organizador del XIII Simposio Nacional de Garbanzo agradece el apoyo del Gobierno del Estado de Sonora, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-SADER, Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. y a la Fundación Pro Investigación Agrícola del Estado de Sonora, A.C.-FIAES para la realización de este evento.

De la misma manera se hace amplio reconocimiento y agradecimiento por su apoyo a las siguientes instituciones y empresas:

- INIFAP Campo Experimental Costa de Hermosillo
- INIFAP Campo Experimental Norman E. Borlaug
- INIFAP Campo Experimental Valle del Fuerte
- INIFAP Campo Experimental Valle de Culiacán
- INIFAP Campo Experimental Todos Santos
- INIFAP Campo Experimental Bajío
- Universidad de Sonora
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Sonora
- Junta Local de Sanidad Vegetal de Hermosillo
- Asociación de Organismos Agrícolas del Norte de Sonora
- Productores de Garbanzo
- FMC Agroquímica de México
- Syngenta
- PURP S.A. de C.V.
- Smart Fields, Agricultura del Futuro
- Nutrek Terra Fertilizantes



Agricultura
Secretaría de Agricultura
y Desarrollo Rural

iniqap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



syngenta

FMC



SMART FIELDS



Las memorias técnicas son publicaciones cuyo objetivo es dar a conocer a técnicos e investigadores información tecnológica presentada en reuniones como seminarios, mesa redonda, debates, talleres, cursos de capacitación o talleres organizados por el INIFAP sobre tecnologías de producción o los métodos y técnicas de su transferencia.

COMITÉ EDITORIAL DEL CECH

Presidente

M.C. Teodoro Cervantes Mendívil

Secretario

M.Sc. Fernando Afonso Vieira de Figueiredo

Vocales

Dra. Adriana Isabel Pérez Luna

M.A. Karla Guadalupe Domínguez Canizales

El proceso editorial de esta publicación y el formato electrónico se terminó en diciembre de 2025, en el Campo Experimental Costa de Hermosillo. Pascual Encinas Félix No.72. Colonia La Manga. Hermosillo, Sonora.

Para mayores informes dirigirse al:

Campo Experimental Costa de Hermosillo (INIFAP)
Pascual Encinas Félix No.72. Colonia La Manga. Hermosillo,
Sonora.

C.P. 83220 Tel: (55) 3871-8700 Ext. 81339.

E-mail: cecostahermosillo@inifap.gob.mx

Coordinadores de la información

M.Sc. Pedro Francisco Ortega Murrieta
M.Sc. Fernando Afonso Vieira de Figueiredo

Edición

M.Sc. Fernando Afonso Vieira de Figueiredo
M.Sc. Pedro Francisco Ortega Murrieta
M.A. Karla Guadalupe Domínguez Canizales

Diseño y fotografía

M.Sc. Pedro Francisco Ortega Murrieta
M.Sc. Fernando Afonso Vieira de Figueiredo
M.A. Karla Guadalupe Domínguez Canizales

COMITÉ CIENTIFICO

M.Sc. Pedro Francisco Ortega Murrieta
Dra. Adriana Isabel Pérez Luna
Dra. Claudia María Melgoza Villagómez
M.Sc. Fernando Afonso Vieira de Figueiredo
M.C. Isidoro Padilla Valenzuela
Dr. Jorge Pérez Cárcamo

COMITÉ ORGANIZADOR

Coordinación general

M.Sc. Pedro Francisco Ortega Murrieta
M.C Teodoro Cervantes Mendívil
Ing. Jesús Octavio Flores Lara

Promoción y difusión

Dr. Erasmo Valenzuela Cornejo
Dra. Adriana Isabel Pérez Luna
M.A. Karla Guadalupe Domínguez Canizales
C.P. María De Los Ángeles Almaral Carrillo
Dr. Jorge Pérez Cárcamo
M.C. José Abraham Gámez Lucero

Expositores y Programa

M.Sc. Pedro Francisco Ortega Murrieta

Memoria

M.Sc. Fernando Afonso Vieira De Figueiredo
M.Sc. Pedro Francisco Ortega Murrieta
Dra. Adriana Isabel Pérez Luna
Dr. Jorge Pérez Cárcamo
M.C. Isidoro Padilla Valenzuela

Transmisión del evento

Dra. Adriana Isabel Pérez Luna
Dr. Jorge Pérez Cárcamo
María Gabriela Cañez Saavedra
Grecia Carolina López Borbón

Registro

C.P. María De Los Ángeles Almaral Carrillo
C.P. Iveth María Almaral Carrillo
C.P. Dulce Irene Acosta Valle
Lic. Yeltanetzi Baez Osorio
C.P. María del Rosario Robles López
C.P. Erika Yadira Santacruz Cornejo

Tec. Miguel Roberto Salazar Díaz
C. Juana García Murillo
C. Juan Carlos López Soberanes

Módulos Comerciales

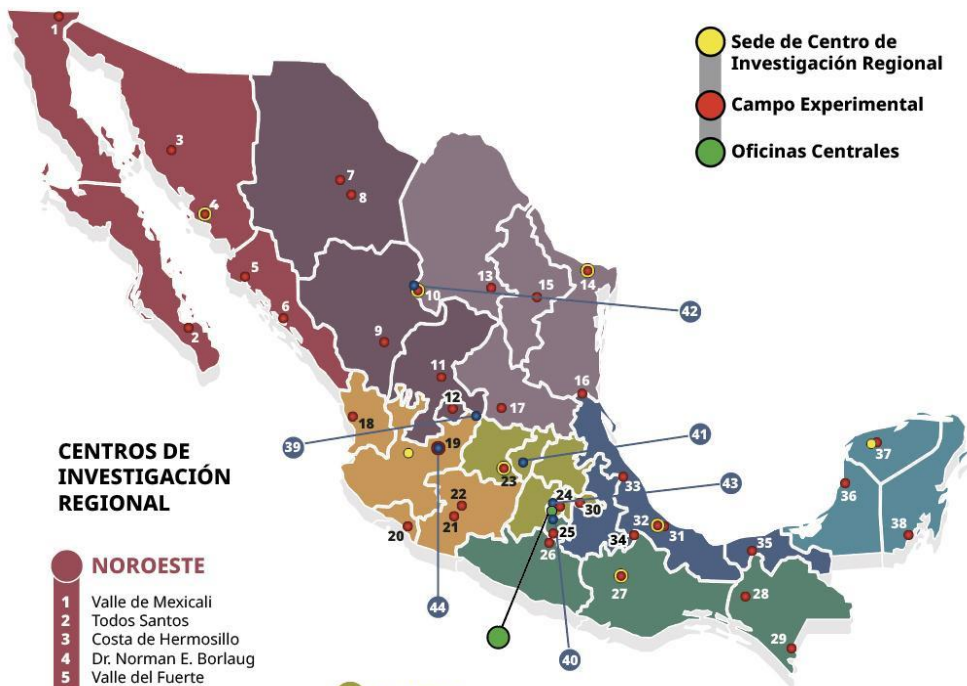
M.A. Karla Guadalupe Domínguez Canizales
M.Sc. Pedro Francisco Ortega Murrieta

Moderadores

Dra. Adriana Isabel Pérez Luna
Dr. Jorge Pérez Cárcamo

La presente publicación se terminó de editar en
Hermosillo, Sonora en diciembre de 2025.

Publicación electrónica disponible en
la biblioteca digital del INIFAP:
https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Campo Experimental
- Oficinas Centrales

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 Martínito
- 31 Cotaxtla
- 32 La Posta
- 33 Ixtacuaco
- 34 El Palmar
- 35 Huimanguillo

SURESTE

- 36 Edzná
- 37 Mocoohá
- 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)



Agricultura
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural



www.gob.mx/inifap