

Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio en Ciencias Agropecuarias
Facultad de Agronomía Culiacán
Maestría en Ciencias Agropecuarias



TESIS:

**VARIACIÓN GENÉTICA ENTRE Y DENTRO DE POBLACIONES EN
LA CAPACIDAD DE GERMINACIÓN DE CHILE SILVESTRE DEL
NOROESTE DE MÉXICO**

**Que para obtener el grado de Maestro en Ciencias
Agropecuarias**

PRESENTA:

Mario Humberto Valenzuela Romero

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Sergio Hernández Verdugo

12 de Febrero de 2021

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Antonio Pacheco Olvera

Culiacán, Sinaloa, México; a 12 de Febrero de 2021

ACTA DE APROBACIÓN.

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR Valenzuela Romero Mario Humberto, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJERO:


DR. SERGIO HERNÁNDEZ VERDUGO

ASESOR:


DR. ANTONIO PACHECO OLVERA

ASESOR:


DR. JESÚS ENRIQUE RETEZ MANJARREZ

ASESOR:


DR. TOMÁS OSUNA ENCISO

ASESOR


DR. CARLOS ALFONSO LÓPEZ ORONA

Culiacán, Sinaloa, a 12 de Febrero de 2021.



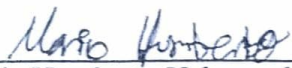
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 04 de marzo del año 2021, el que suscribe Mario Humberto Valenzuela Romero, alumno del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 922202, de la Unidad Académica Facultad de Agronomía Culiacán, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Sergio Hernández Verdugo y del Dr. Antonio Pacheco Olvera y cede los derechos del trabajo titulado "Variación genética entre y dentro de poblaciones en la capacidad de germinación de chile silvestre del noroeste de México", a la Facultad de Agronomía Culiacán, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE


Mario Humberto Valenzuela Romero

DOMICILIO: Calle Angelita Ortiz #2231, Fracc. Álamos Country. Los Mochis, Sinaloa, México.
TELÉFONO: 668-1114381
CORREO ELECTRÓNICO: mario.humberto500@gmail.com
CURP: VARM941013HSLLMR07

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Quienes me han apoyado a lo largo de mi vida como estudiante de forma incondicional e incansable, me han facilitado las herramientas para enfrentarme a las dificultades que se me presenten en la vida. Me han dado su cariño y comprensión. A ellos les debo todos mis logros.

DR. HERNÁNDEZ MORENO JOSÉ JUAN ROQUE

Por su invaluable apoyo en las distintas actividades que realice durante el posgrado.

A LOS DOCENTES Y ALUMNOS DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

Por su colaboración pronta y eficiente en los trabajos de campo, sin la ayuda que me brindaron habría sido difícil llevar a cabo las actividades de investigación.

AGRADECIMIENTOS

A MI DIRECTOR DE TESIS

Dr. Sergio Hernández Verdugo, quien me ha brindado su apoyo, conocimientos y tutela en forma constante, paciente e incondicional, durante la elaboración de mi tesis.

AL DOCTOR ANTONIO PACHECO OLVERA

Por sus enseñanzas, consejos y motivación.

A MIS PROFESORES

Por sus enseñanzas y experiencias transmitidas.

A MIS COMPAÑEROS DE POSGRADO

Por sus consejos y camaradería durante el posgrado.

CONTENIDO

	PÁGINA
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
CONTENIDO	III
ÍNDICE DE CUADROS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ACTA DE APROBACIÓN.....	IX
CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Origen.....	3
2.2. El chile silvestre como recurso genético.....	3
2.3. Especies domesticadas de <i>Capsicum</i>	4
2.4. Variación genética de <i>Capsicum annuum</i> silvestre.....	4
2.5. Germinación.....	5
2.5.1 Efecto del ácido giberélico en la germinación.....	5
2.6. Heredabilidad.....	6
2.7. Pérdida de recursos genéticos.....	6
III. HIPÓTESIS.....	7
IV. OBJETIVOS.....	8

V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
5.1 Material vegetal y diseño experimental.....	9
5.2. Localización de las poblaciones de <i>Capsicum annuum</i> silvestre colectadas en el noroeste de México.....	10
5.3. Experimentos de germinación.....	11
5.4. Variación en peso de semilla.....	11
5.5. Análisis estadístico.....	12
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	13
6.1. Variación en la germinación.....	13
6.1.1 Efecto de los tratamientos.....	14
6.1.2. Variación entre poblaciones.....	16
6.1.2.1 Análisis de componentes principales.....	18
6.1.3. Correlaciones entre el porcentaje de germinación con los factores medioambientales de los sitios de colecta.....	20
6.1.4. Variación dentro de poblaciones.....	21
6.1.4.1. Población Yecorato.....	21
6.1.4.2. Población Mazocahui.....	23
6.1.4.3. Población Presa Oviachic.....	24
6.1.4.4. Población Buyubampo.....	25
6.1.4.5. Población Lo de Vega.....	26
6.1.5. Distribución de la variación en la capacidad de germinación...	27
6.1.6 Heredabilidad.....	28
6.2. Variación en el peso promedio de semilla.....	29

6.2.1. Relaciones entre peso de semilla con el porcentaje final de germinación.....	29
...	
6.2.1.1. Relaciones entre peso promedio de semilla y porcentaje final de germinación de las familias de las 5 poblaciones en cada tratamiento con ácido giberélico.....	32
VII. CONCLUSIONES.....	33
VIII. LITERATURA CITADA.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Datos geográficos y climáticos de los sitios de colecta	9
2	Resumen de análisis de varianza del porcentaje de germinación	13
3	Porcentajes de germinación (medias \pm SE) de las poblaciones estudiadas en diferentes concentraciones de ácido giberélico	17
4	Resultados del análisis de componentes principales de los cuatro tratamientos con ácido giberélico en las poblaciones de <i>Capsicum annuum</i> var. <i>glabriusculum</i>	18
5	Coefficientes de correlación de Pearson entre el porcentaje de germinación con las variables geográficas y climáticas de los sitios de origen de las poblaciones de <i>C. annuum</i> silvestre estudiadas	20
6	Componentes de varianza expresados en porcentajes de la variación total entre poblaciones (VEP), entre familias (VEF) y dentro de familias (VDF). Variación genética total (VGT), variación genética entre poblaciones (VGP), variación genética entre familias (VGF) y heredabilidad en sentido amplio (H ²) para el porcentaje de germinación en los tratamientos 0, 125, 250 y 500 ppm de AG, en las poblaciones de <i>C. annuum</i> silvestre del noroeste de México.	27
7	Valores de heredabilidad en sentido amplio estimados en cada una de las poblaciones de 0, 125, 250 y 500 partes por millón (ppm) de ácido giberélico (AG).	28
8	Media (\pm 1 EE), valores mínimos, máximos y rango del peso de semilla (mg) de las familias de las poblaciones de chile silvestre estudiadas.	29
9	Regresiones lineales entre el peso promedio de semillas con los porcentajes promedio de germinación de las 93 familias de las cinco poblaciones de chile silvestre en cada tratamiento de AG (ppm)	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1.-	Localización de las cinco poblaciones de <i>C. annuum</i> silvestre colectadas en el noroeste de México.....	10
2.-	Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en los cuatro tratamientos de ácido giberélico.....	15
3.-	Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las cinco poblaciones de chile silvestre.....	16
4.-	Diferenciación de cinco poblaciones de chile silvestre sobre los componentes principales 1 y 2.	19
5.-	Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las 20 familias de la población Yecorato, en los 4 tratamientos con ácido giberélico: 0 ppm de AG (A), 125 ppm de AG (B), 250 ppm de AG (C) y 500 ppm de AG (D).	22
6.-	Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las 20 familias de la población Mazocahui, en los 4 tratamientos con ácido giberélico: 0 ppm de AG (A), 125 ppm de AG (B), 250 ppm de AG (C) y 500 ppm de AG (D).	23
7.-	Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las 20 familias de la población Presa Oviachic, en los 4 tratamientos con ácido giberélico: 0 ppm de AG (A), 125 ppm de AG (B), 250 ppm de AG (C) y 500 ppm de AG (D).	24
8.-	Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las 13 familias de la población Buyubampo, en los 4 tratamientos con ácido giberélico: 0 ppm de AG (A), 125 ppm de AG (B), 250 ppm de AG (C) y 500 ppm de AG (D).	25
9.-	Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las 20 familias de la población Lo de Vega, en los 4 tratamientos con ácido giberélico: 0 ppm de AG (A), 125 ppm de AG (B), 250 ppm de AG (C) y 500 ppm de AG (D).	26
10.-	Relación entre peso promedio de semilla con el porcentaje final de germinación de todas las réplicas de las familias de las 5 poblaciones en los cuatro tratamientos de AG.	30

11.-	Relación entre el peso promedio de semilla y el porcentaje final de germinación de las familias en los cuatro tratamientos con ácido giberélico (A= 0, B = 125, C = 250, D = 500 ppm).	32

RESUMEN

Se estimó la distribución de la variación en la germinación entre poblaciones, entre y dentro de familias y la proporción de esta variación que tiene una base genética en cinco poblaciones de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) de los estados de Sinaloa y Sonora en cuatro concentraciones de ácido giberélico (AG): 0, 125, 250 y 500 ppm. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza anidados. De la variación total 39.21 % se encontró entre familias, 34.30 % entre poblaciones y 26.49 % dentro de las familias. De la variación total, 73.51 % tiene una base genética, de la cual 46.34 % se distribuyó entre y 53.66 % dentro de las poblaciones. Esos resultados indican que las poblaciones de chile silvestre estudiadas mostraron niveles altos de variación genética entre y dentro de sus poblaciones en la germinación, en respuesta a las diferentes concentraciones de AG utilizadas.

Las diferencias entre poblaciones en la capacidad de germinación no se correlacionaron con los principales factores climáticos de los sitios de colecta, indicando que no se puede afirmar que tales diferencias pueden ser consideradas como adaptaciones a las condiciones ecológicas de los sitios de origen de las poblaciones. La heredabilidad en sentido amplio varió (H^2) entre las concentraciones de AG, desde 0.45 (125 ppm de AG) hasta 0.56 (500 ppm de AG), indicando que una parte importante de la variación en la germinación de las semillas observada en las poblaciones de *C. annuum* silvestre está regulada por el genotipo. Las aplicaciones de 125, 250 y 500 ppm de AG aumentaron significativamente el porcentaje de germinación de las semillas en todas las poblaciones. El peso de las

semillas varió significativamente entre y dentro de las poblaciones y se correlacionó positiva y significativamente con el porcentaje de germinación en los tratamientos de 125, 250 y 500 ppm de AG. Lo anterior indica que el ambiente de crecimiento de las plantas madres influye en la capacidad de germinación y peso de las semillas de *C.annuum* silvestre.

Palabras clave: *Capsicum annuum* silvestre, ácido giberélico, variación genética, heredabilidad en sentido amplio, noroeste de México.

ABSTRACT

The distribution of germination variation among populations, among and within families, and the proportion of such variation genetically based was estimated in five populations of wild pepper (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) from Sinaloa y Sonora states in four concentrations of gibberellic acid (GA): 0, 125, 250 and 500 ppm. The data were analysed by nested analysis of variance. Out of the total variation 39.21 % was found among families, 34.30 % among populations and 26.49 % within families. From the total variation, 73.51 % was genetically based, from which 46.34 % was among and 53.66 % within populations distributed. These results indicated the wild pepper populations studied showed high levels of genetic variation among and within populations in germination in response to different concentrations of GA used. The differences in the germination capacity among the populations were not significantly correlated with the main climate factors of the collection sites; therefore, they should be considered independent reactions to the environmental conditions of their sites of origin. The broad sense heritability (H^2) varied among concentrations of GA, from 0.45 (125 ppm of GA) to 0.56 (500 ppm of GA), indicating that an import part of the variation in seed germination observed in wild *C. annuum* is under genotypic regulation. Application of 125, 250 and 500 ppm of GA significantly increased the germination percentage of seed in all populations. The weight of seeds varied significantly among and within populations and was positively and significantly correlated with the percentage of germination in the 125, 250 and 500 ppm GA treatments. This indicates that the environment of growth of mother plants influences the capacity of germination and weight of wild *C. annuum* seeds.

Keywords: *Capsicum annuum* wild type, gibberellic acid, genetic variation, broad sense heritability, northwestern Mexico.

I. INTRODUCCIÓN

El chile (género *Capsicum*) es una especie de gran importancia económica siendo una de las hortalizas de mayor producción a nivel mundial. El género *Capsicum* (Solanaceae) está formado por alrededor de 30 especies (Hernández-Verdugo 2018), de las cuales *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens* están domesticadas. De estas especies *C. annuum* es la de mayor importancia económica, se cultiva en todo el mundo, incluyendo las principales regiones productoras de hortalizas en México (Hernández-Verdugo 2018). *C. annuum* es la especie que presenta la mayor variación morfológica, a esta especie pertenecen los tipos de chile “Anaheim”, “cola de rata”, “serrano”, “morrón”, “jalapeño” y “ancho” entre otros.

Las plantas de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser y Pickersgill), conocidas comúnmente por el nombre de chiles “chiltepines” o “piquines” son perennes, de porte herbáceo o trepadoras, sus frutos son pequeños, rojos y pungentes; están distribuidos ampliamente en nuestro país, especialmente bajo los árboles de la selva baja caducifolia. También es posible encontrarlas en caminos, huertos y vegetación remanente de los campos de cultivos (Hernández-Verdugo *et al.*, 1998).

Diversos estudios con marcadores moleculares de isoenzimas, RAPDs y microsatélites han demostrado que las poblaciones silvestres de chile del noroeste de México mantienen elevados niveles de variación genética entre y dentro de sus poblaciones (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001a, Oyama *et al.*, 2006; Pacheco *et al.*, 2012). Además, Hernández-Verdugo *et al.* (2001b) encontraron elevados niveles de variación en la capacidad de germinación entre sus poblaciones.

La variación en la germinación se presenta en la mayoría de las especies vegetales que se reproducen por semillas. Esta variación se ha reportado entre poblaciones (Meyer *et al.*, 1997; Hernández-Verdugo *et al.*, 2001b) y entre semillas de la misma planta (Evans y Cabin, 1995; Schutz y Rave, 2003).

Los mecanismos que regulan la germinación están bajo presiones selectivas, por lo que la variación de la capacidad germinativa entre y dentro de las especies se interpreta como una adaptación a las condiciones específicas del hábitat local y regional (Meyer *et al.*, 1997).

El peso o masa de la semilla varía ampliamente entre poblaciones de plantas de una misma especie, entre o dentro de plantas individuales (Obeso, 1993; Kosiński, 2008), y puede afectar el porcentaje y la velocidad de germinación. Sin embargo, los resultados han sido diversos según la especie estudiada. Willenborg *et al.* (2005) reportaron una relación positiva del peso de la semilla con el porcentaje y velocidad de germinación, mientras que Sánchez-Salas *et al.* (2006) y Delgado *et al.* (2008) encontraron una relación negativa entre las mismas variables.

En este trabajo se estimó la variación en la germinación de las semillas de chile silvestre en diferentes concentraciones de AG y la proporción de esta variación que es heredable. Además se estimó la relación de la capacidad de germinación con el peso de semillas de cinco poblaciones silvestres de *C. annuum* del noroeste de México. Los resultados del presente estudio permitirán una mejor comprensión de los mecanismos de germinación de que dispone *C. annuum* silvestre para mantenerse y sobrevivir en condiciones naturales y contribuir a mejorar el uso y mantenimiento de los recursos genéticos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen

Actualmente se considera que el género *Capsicum* es originario de América del Sur, de la región que comprende Perú, Bolivia, Brasil y Argentina y durante su dispersión por el Continente Americano, algunas de las especies fueron domesticadas de manera independiente en diferentes lugares: *C. annuum* en México, *C. frutescens* en Costa Rica, *C. chinense* en las tierras altas del Río Amazonas, *C. baccatum* en Bolivia y *C. pubescens* en Los Andes. En México se encuentran las especies de cultivadas *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense* y *C. pubescens*, además de las especies no utilizadas por el hombre *C. ciliatum* y *C. lanceolatum* (Hernández-Verdugo *et al.*, 1999).

2.2. El chile silvestre como recurso genético

En México existen poblaciones de plantas silvestres, como el chile (*Capsicum* spp.), que están relacionadas con las plantas cultivadas de interés para el hombre. Las poblaciones silvestres del chile *Capsicum annuum* son de gran importancia debido a que constituyen un acervo genético que puede ser útil en el mejoramiento genético de las variedades cultivadas, en aspectos como la resistencia a plagas, enfermedades y aumentar la calidad y cantidad de la producción (Hernández-Verdugo *et al.*, 1998). En estudios previos se ha encontrado que las poblaciones de *Capsicum annuum* silvestre son fuente de resistencia genética a enfermedades transmitidas por insectos, como es el caso de mosquita blanca (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001c).

2.3. Especies domesticadas de *Capsicum*

El género *Capsicum* al cual pertenece el chile consta de alrededor de 30 especies distribuidas desde el sur de los Estados Unidos hasta el norte de Argentina. Del género han sido domesticadas *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens*. En México se cultivan las especies *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. pubescens* (Pickersgill, 1984). De estas especies, *Capsicum annuum* es la que presenta una mayor importancia económica, se cultiva en regiones templadas, tropicales y subtropicales. Las variedades comerciales presentan una gran variación en el tamaño, forma y color de los frutos. Se cultiva a lo largo de todo el territorio nacional.

2.4. Variación genética de *Capsicum annuum* silvestre

Estudios anteriores han demostrado que las poblaciones silvestres de *C. annuum* de México mantienen elevados niveles de variación genética, morfológica, ecofisiológica y en la resistencia a patógenos (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001a, Hernández-Verdugo *et al.*, 2006; Oyama *et al.*, 2006; Pacheco *et al.*, 2012). Estas mismas poblaciones también mostraron elevada variación en características fenotípicas vegetativas, reproductivas (Hernández Verdugo *et al.*, 2008, 2012; López-España *et al.*, 2016) y en la germinación de sus semillas (Hernández Verdugo *et al.*, 2001b, 2010).

2.5. Germinación

La germinación es un proceso bioquímico en el cual la semilla recupera la actividad biológica. La absorción de agua por la semilla desencadena una secuencia de cambios metabólicos, que incluyen la respiración, la síntesis proteica y la movilización de reservas. A su vez la división y el alargamiento celular en el embrión provocan la rotura de las cubiertas seminales, que generalmente se produce por la emergencia de la radícula. Sin embargo, las semillas de muchas especies son incapaces de germinar, incluso cuando se encuentran en condiciones favorables. Esto es debido a que las semillas se encuentran en estado de latencia (Baskin y Baskin, 2014).

Los mecanismos que regulan el inicio de la germinación están bajo fuertes presiones selectivas, por lo que la variación en la capacidad germinativa entre y dentro de las especies se interpreta como una adaptación a las condiciones específicas del hábitat local y regional (Meyer *et al.*, 1997).

2.5.1 Efecto del ácido giberélico en la germinación

El ácido giberélico (AG) ha sido utilizado frecuentemente para promover la germinación de varias especies vegetales. El AG rompe la latencia y acelera la germinación de las semillas no latentes y frecuentemente reemplaza la necesidad de estímulos ambientales, como la luz y la temperatura en diferente especies vegetales, incluyendo *Capsicum* (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001b; Cano-Vázquez *et al.*, 2015).

2.6. Heredabilidad

La conservación genética de una especie depende de sus niveles de variación genética y la capacidad de transmitir esta variación a las siguientes generaciones. El proceso de selección natural actúa en las poblaciones donde sus individuos presentan diferencias entre sí, y cuando estas diferencias tienen una base genética que son heredables. La heredabilidad en sentido amplio nos mide la importancia relativa del genotipo en la determinación de un carácter fenotípico (Falconer y Mackay, 1996). Por tanto:

La varianza fenotípica total (V_P) = Varianza genética (V_G) + Varianza ambiental (V_E).

La heredabilidad en sentido amplio (H^2) = V_G/V_P .

2.7. Pérdida de recursos genéticos

Las actividades humanas, como la tala de árboles, la ganadería, el cambio de uso de suelo, incluso la colecta de los mismos frutos de las plantas de chiltepín son amenazas para la sobrevivencia de las poblaciones de chile silvestre en su ambiente natural. Por lo tanto el estudio y conservación de las mismas es fundamental para su aprovechamiento en futuras generaciones.

III. HIPÓTESIS

El ácido giberélico puede aumentar el porcentaje de la germinación de *Capsicum annuum* silvestre.

Las poblaciones de chile silvestre de los estados de Sinaloa y Sonora mantienen elevados niveles de variación en la capacidad de germinación entre y dentro de sus poblaciones.

Parte de la variación en la capacidad de germinación entre y dentro de las poblaciones tiene una base genética.

Los factores climáticos temperatura y precipitación media anual de los sitios de colecta de las poblaciones pueden tener un efecto sobre la capacidad de germinación de la semilla.

El peso de semilla puede tener una influencia sobre el porcentaje de germinación.

IV. OBJETIVOS

V. Objetivo general

Estimar los niveles de variación genética en la capacidad de germinación de en respuesta a diferentes concentraciones de AG en cinco poblaciones de chile silvestre de los estados de Sinaloa y Sonora.

VI. Objetivos particulares

1. Estimar los efectos del ácido giberélico en la germinación de semillas de *C. annuum* silvestre, bajo cuatro diferentes concentraciones.
2. Estimar los niveles de variación en la capacidad de germinación entre y dentro de poblaciones de chile silvestre de los estados de Sinaloa y Sonora en cuatro niveles de concentración de ácido giberélico.
3. Determinar la proporción de la variación en la capacidad de germinación que tiene una base genética.
4. Estimar la relación entre los porcentajes de germinación y las condiciones climáticas de los sitios de colecta.
5. Estimar la relación entre el peso promedio de semilla y el porcentaje de germinación.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Material vegetal y diseño experimental

Se colectaron frutos maduros de plantas de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en cinco sitios de los estados Sinaloa y Sonora (Cuadro 1, (Figura 1). En todas las poblaciones se colectó frutos maduros de al menos 20 plantas, excepto de la población Buyubampo, de la que se colectó sólo de 13 plantas. Las poblaciones colectadas y sus datos geográficos y climáticos se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Datos geográficos y climáticos de los sitios de colecta

Población	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (msnm)	Precipitación media anual (cm)	Temperatura media anual (°C)
1. Mazocahui	29° 34'	110° 05'	473	586	21.1
2. Presa Oviachic	27° 46'	109° 54'	582	389	25.5
3. Buyubampo	26° 38'	108° 32'	225	632	25.1
4. Yecorato	26° 25'	108° 12'	400	855	24.1
5. Lo de Vega	26° 11'	108° 32'	120	670	23.4

5.2. Localización de las poblaciones de *Capsicum annuum* silvestre colectadas en el noroeste de México

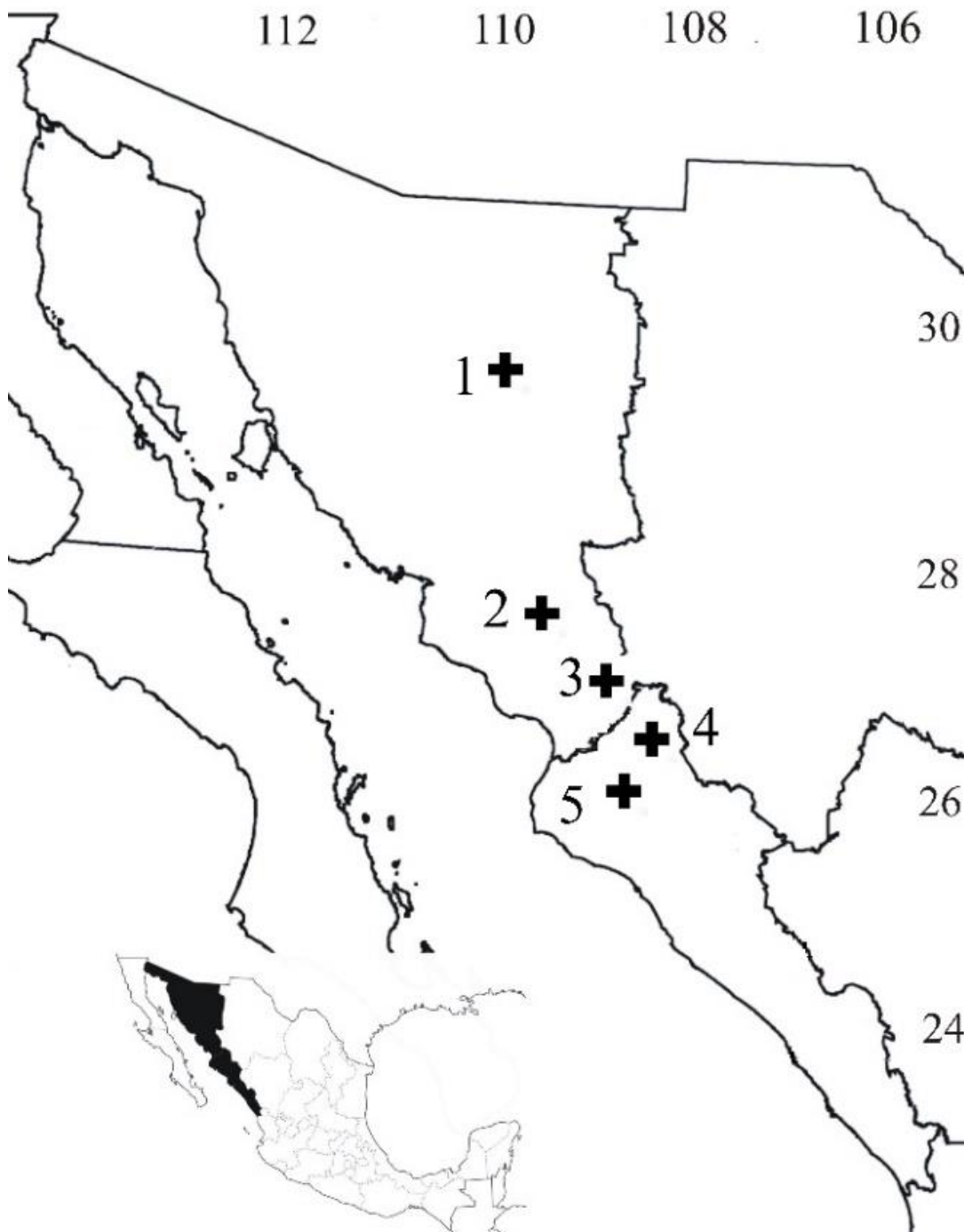


Figura 1. Localización de las cinco poblaciones de *C. annuum* silvestre colectadas en el noroeste de México. Los números de las poblaciones están indicados en el Cuadro 1.

5.3. Experimentos de germinación

Se seleccionaron 20 plantas de las poblaciones Yecorato, Mazocahui, Presa Oviachic y Lo de Vega y 13 plantas de la población Buyubampo. De cada planta se extrajo semilla de los frutos y se pesó en una balanza Voyager Pro. La semilla de cada planta es considerada una familia. En total se formaron 93 familias con las cuales se llevó a cabo el experimento de germinación.

Se embebió 21 semillas sanas de cada planta de cada población en cuatro dosis de ácido giberélico (AG). Las dosis fueron 0, 125, 250 y 500 ppm durante 36 horas. En el tratamiento 0 ppm se sembraron 60 semillas de cada planta en agua destilada. Las semillas tratadas se sembraron en charolas para plántula de 60 cavidades, usando Peat Moss como sustrato. Se colocaron tres réplicas de 7 semillas en los tratamientos 125, 250 y 500 ppm en cada cavidad. En el tratamiento 0 ppm de AG se sembraron tres réplicas de 20 semillas. Se tomaron datos de germinación durante 30 días después de la siembra. La variable de respuesta fue el porcentaje final de germinación.

5.4. Variación en peso de semilla

Se pesó la semilla de cada réplica en cada tratamiento en una balanza Voyager Pro. En total se pesaron 1116 réplicas (93 familias x 3 repeticiones (7 semillas por repetición) x 4 tratamientos =7812 Semillas).

5.5. Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante dos series de análisis de varianza anidados. Primero se hizo un análisis de varianza de dos vías con todas las poblaciones y todos los tratamientos Posteriormente se efectuó un análisis de varianza anidado con todos los datos de las cuatro poblaciones en cada concentración de AG con el propósito de estimar la distribución de la variación entre poblaciones, entre familias dentro de poblaciones y dentro de familias. Tanto las poblaciones como las familias dentro de las poblaciones fueron considerados factores aleatorios.

Para estimar la variación genética y ambiental en el porcentaje de germinación se usó la suma de las varianzas entre familias y entre poblaciones como estimadores de la varianza genética total y la variación dentro de familia como un estimador de la varianza ambiental. La contribución del componente genético entre poblaciones se calculó como la varianza entre poblaciones dividida por la suma de las varianzas entre poblaciones y entre familias (Meyer y Allen, 1999).

Se estimó la heredabilidad en sentido amplio (H^2), la cual es definida como la varianza entre familia dividida por la suma de varianzas entre y dentro de familias (Falconer y Mackay, 1996). Cuando las diferencias entre poblaciones o tratamientos fueron significativas, se efectuaron análisis múltiples de medias. Se realizó un análisis de componentes principales con la finalidad de diferenciar a las poblaciones estudiadas. Se realizaron correlaciones entre el porcentaje de germinación y los principales factores climáticos y geográficos de los sitios de origen de las poblaciones. Además se efectuaron correlaciones entre los porcentajes de germinación de las poblaciones en cada tratamiento de AG y con el peso de la de las semillas en cada tratamiento de AG. En este último análisis se utilizaron las medias de las familias de las poblaciones. El paquete estadístico que se utilizó para los análisis de los datos obtenidos fue JMP-SAS versión 11.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Variación en la germinación

Hubo diferencias significativas en los cuatro tratamientos, en las cinco poblaciones y las familias dentro de las poblaciones, en el porcentaje de germinación. Las interacciones población por tratamiento y familia por tratamiento fueron igualmente significativas (cuadro 2).

Cuadro 2. Resumen de análisis de varianza del porcentaje de germinación.

Fuente de variación	de GL	SC	CM	F	P
Tratamiento (T)	3	150874.2	265.18	265.1842	<.0001
Población (P)	4	209383.1	276.02	276.0169	<.0001
Familia (P)	88	149720.4	8.97	8.9712	<.0001
P x T	12	81158.4	35.66	35.6620	<.0001
Familia (P) x T	264	156770.1	3.13	3.1312	<.0001
Error	744	141097.4	189.65		
C Total	1115	873312.8			

6.1.1 Efecto de los tratamientos

El ácido giberélico promovió la germinación de la semilla en las cinco poblaciones estudiadas. Los tratamientos de 250 y 500 ppm fueron los más efectivos para promover la germinación (Figura 2, Cuadro 3). Los porcentajes de germinación promedio en los tratamientos de 250 y 500 ppm de AG fueron 33.0 y 31.5 % respectivamente. En el tratamiento de 125 ppm de AG, el porcentaje de germinación fue 28.5 %. En cambio, el tratamiento de 0 ppm de AG, el porcentaje de germinación fue 4.0 % (Cuadro 3). Estos resultados indican que el AG aumentó significativamente la germinación de las semillas de *C. annuum* silvestre, por lo cual puede utilizarse con el propósito de aumentar la germinación de las semillas de esta especie.

Estos resultados coinciden con estudios previos que han indicado que la aplicación de AG es un método efectivo para promover la germinación de semillas de *C. annuum* silvestre (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001b; Cano-Vázquez *et al.*, 2015). Hernández-Verdugo *et al.* (2001b) reportaron que la aplicación de 250, 500 y 1000 ppm de AG aumentaron la germinación en 13 poblaciones de chile silvestre del noroeste de México. De estas tres concentraciones de AG, encontraron que 500 ppm de AG fue la más efectiva en promover la germinación en las semillas de chile silvestre, con un promedio de 48.1 %. Cano-Vázquez *et al.* (2015) reportaron que la aplicación de 5000 ppm de AG aumentó significativamente la germinación en 14 de 16 colectas analizadas de chile silvestre, con un promedio de germinación de 59 %.

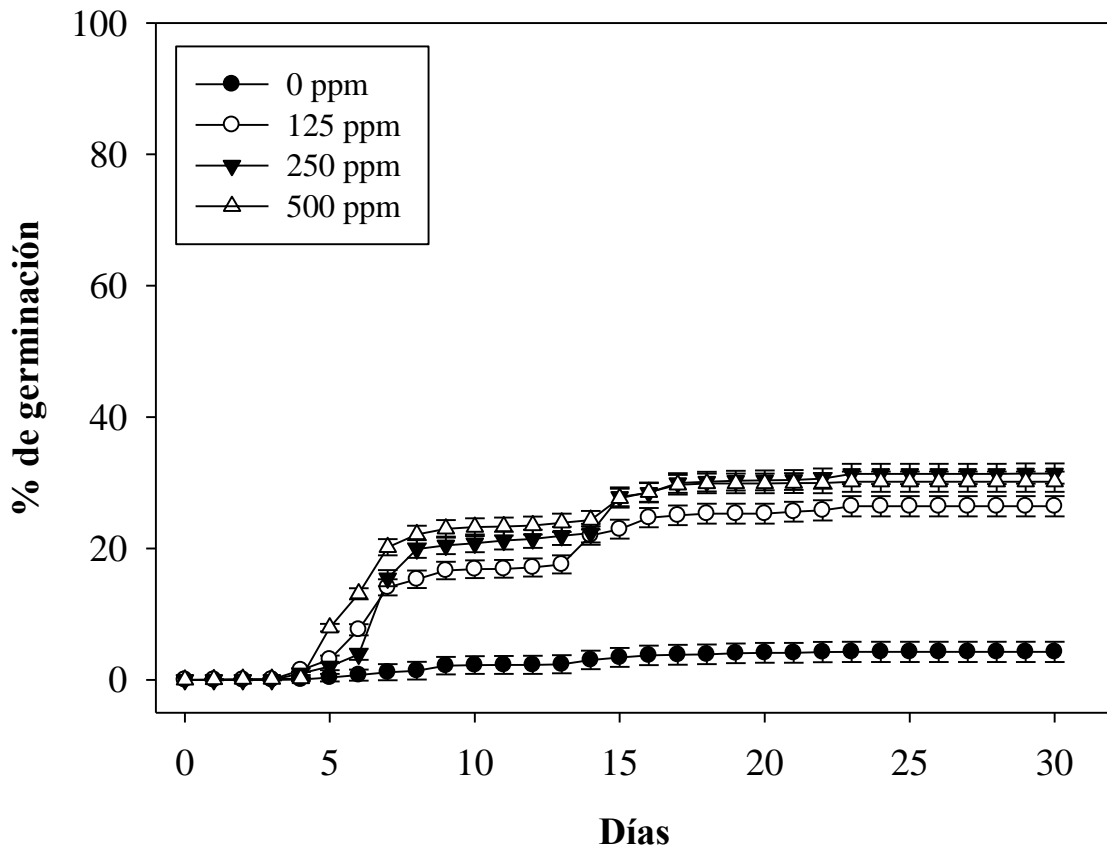


Figura 2. Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en los cuatro tratamientos de ácido giberélico.

6.1.2. Variación entre poblaciones

Hubo diferencias significativas entre las poblaciones en el porcentaje de germinación considerando los cuatro tratamientos con ácido giberélico (Figura 3, Cuadro 3). Las poblaciones Yecorato y Buyubampo presentaron los mayores porcentajes promedio de germinación, seguidas de las poblaciones Mazocahui y Presa Oviachic (Figura 3, Cuadro 3).

Dentro de cada tratamiento de AG, las poblaciones mostraron diferencias significativas en el porcentaje final de germinación (Cuadro 3). En el tratamiento de 0 ppm de AG, el porcentaje de germinación varió desde 0.5 % en la población Buyubampo hasta 6.1 % en la población Yecorato (cuadro 3). En el tratamiento de 125 ppm de AG los porcentajes de germinación variaron de 5.2 % (Presa Oviachic) hasta 56.4 % (Buyubampo). En el tratamiento 250 ppm varió desde 2.4 % (Presa Oviachic) hasta 54.2 % (Buyubampo) y en el tratamiento 500 ppm varió desde 3.8 % (Presa Oviachic) hasta 51.4 % (Yecorato) (cuadro 3).

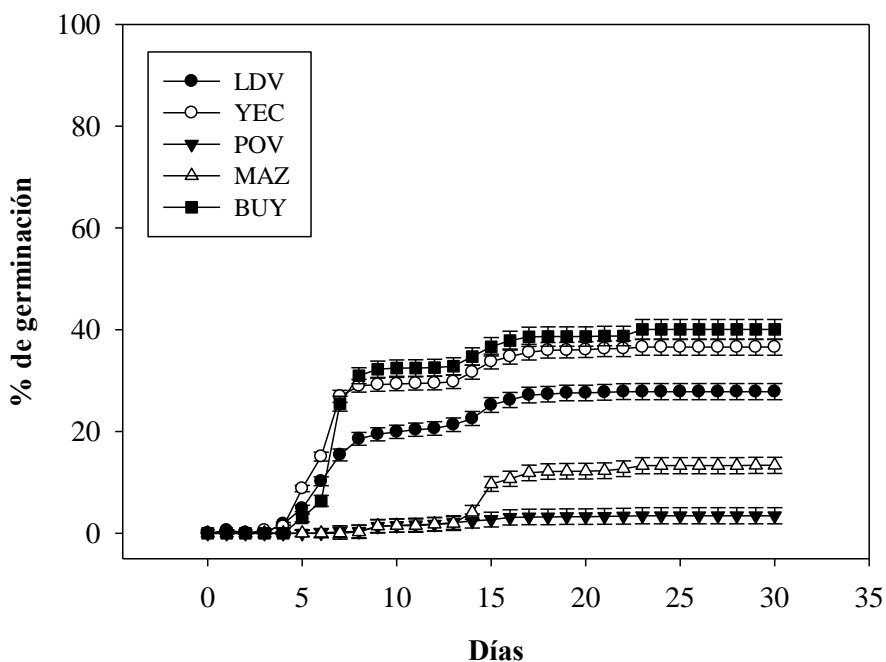


Figura 3. Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las cinco poblaciones de Chile silvestre (LDV = Lo de Vega, YEC = Yecorato, POV = Presa Oviachic MAZ = Mazocahui, BUY = Buyubampo).

Cuadro 3. Porcentajes de germinación (medias \pm SE) de las poblaciones estudiadas en diferentes concentraciones de ácido giberélico.

Población	Tratamiento (ppm de AG)				Media
	0	125	250	500	
YEC	6.1 \pm 1.2 (0 - 35)	39.8 \pm 3.4 (0 - 100)	49.1 \pm 4.2 (0 - 100)	51.4 \pm 3.5 (0 - 100)	36.6 a
MAZ	6.0 \pm 1.2 (0 - 45)	13.3 \pm 2.0 (0 - 57.1)	21.9 \pm 2.8 (0 - 85.7)	12.2 \pm 1.9 (0 - 57.1)	13.4 c
POV	2.3 \pm 0.7 (0 - 20)	5.2 \pm 1.2 (0 - 42.9)	2.4 \pm 0.7 (0 - 14.3)	3.8 \pm 1.7 (0 - 85.7)	3.4 d
BUY	0.5 \pm 0.3 (0 - 10)	56.4 \pm 5.2 (0 - 100)	54.2 \pm 4.3 (0 - 100)	49.1 \pm 4.8 (0 - 100)	35.3 a
LDV	5.1 \pm 1.3 (0 - 50)	27.9 \pm 3.1 (0 - 100)	37.4 \pm 3.5 (0 - 100)	40.96 \pm 22.8 (0 - 85.7)	27.8 b
Media	4.0 c	28.5 b	33.0 a	31.5 ab	

Los valores mínimos y máximos de las medias de los porcentajes de germinación están dentro de los paréntesis. Letras diferentes en las medias de las poblaciones en cada tratamiento son diferentes significativamente ($P \leq 0.05$). Letras diferentes en las medias de los tratamientos son diferentes significativamente ($P \leq 0.05$).

6.1.2.1 Análisis de componentes principales

Los dos primeros componentes principales explicaron el 98.9% de la variación total. El primer componente principal explicó 72.8% de la variación y fue definido por los tratamientos 125, 250 y 500 partes por millón con signo positivo. El segundo componente principal explicó el 26.1% y fue definido por el tratamiento de 0 partes por millón con signo positivo (cuadro 4).

Las poblaciones fueron claramente diferenciadas en el espacio bidimensional de los componentes principales 1 y 2 (figura 4). El componente principal 1 diferenció a las poblaciones Buyubampo y Yecorato en la región de mayor germinación en los tratamientos de 125, 250 y 500 ppm de ácido giberélico, mientras que la población Presa Oviachic ocupó la región opuesta. El componente principal 2 distinguió las poblaciones Yecorato, Mazocahui y Lo de Vega en la región mayor germinación en tratamiento 0 ppm de ácido giberélico. Mientras que las poblaciones Buyubampo y Presa Oviachic ocuparon la región opuesta (Figura 4).

Cuadro 4. Resultados del análisis de componentes principales de los cuatro tratamientos con ácido giberélico en las poblaciones de *Capsicum annum* var. *glabriusculum*.

Tratamiento	CP 1	CP2
0	-0.182	0.983
125	0.985	-0.147
250	0.984	0.152
500	0.969	0.180
% de varianza explicada	72.8	26.1
% de varianza acumulada	72.8	98.9

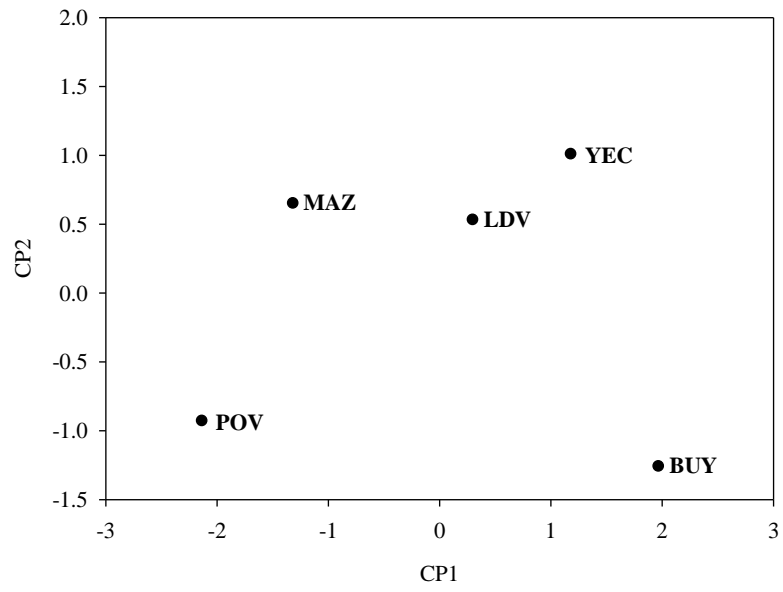


Figura 4. Diferenciación de cinco poblaciones de chile silvestre sobre los componentes principales 1 y 2.

6.1.3. Correlaciones entre el porcentaje de germinación con los factores medioambientales de los sitios de colecta

La variación entre poblaciones de la misma especie en la respuesta en la germinación frecuentemente ha sido interpretada como una adaptación correlacionada con las características del hábitat, particularmente con factores climáticos locales (Meyer *et al.*, 1997). La diferenciación entre poblaciones puede ser causada por selección y deriva génica. Sin embargo, debido a que de las 20 correlaciones efectuadas entre los porcentajes y los tiempos medios de germinación de las semillas de las poblaciones estudiadas y las principales variables climáticas y geográficas de los sitios de colecta, sólo una fue significativa (Cuadro 5), no podemos afirmar que la variación observada entre las poblaciones sea una adaptación a las condiciones ecológicas locales. Por lo tanto, es posible que la deriva génica sea un factor evolutivo importante en la diferencias encontradas en la germinación en las poblaciones *C. annuum* silvestre estudiadas.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre el porcentaje de germinación con las variables geográficas y climáticas de los sitios de origen de las poblaciones de *C. annuum* silvestre estudiadas.

Tratamiento ppm de AG	Latitud	Longitud	Altitud	Precipitación Media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)
0	0.01	0.01	0.08	0.50	- 0.73
125	- 0.64	- 0.83	-0.66	0.65	0.29
250	- 0.62	0.87	- 0.72	0.83	0.06
500	- 0.79	- 0.97**	- 0.74	0.84	0.20

* Significativo $P \leq 0.05$

6.1.4. Variación dentro de poblaciones

Se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de germinación entre las familias de cada población en cada tratamiento (Figuras 5, 7, 7 y 8). Estos resultados pueden atribuirse a diferencias genéticas en la sensibilidad al AG dentro de las poblaciones.

6.1.4.1. Población Yecorato

En el tratamiento de 0 ppm el intervalo de variación fue desde 0 % (familias 4, 6, 9, 10, 13, 14, 15, 18) hasta 28.33 % (familia 12) (Figura 5A). En el tratamiento de 125 ppm la variación en la germinación fue desde 9.53 % (familia 6) hasta 85.70 % (familia 12) (Figura 5B). En el tratamiento de 250 ppm la variación en el porcentaje de germinación fue desde 4.77 % (familia 9) hasta 100 % (familias 16 y 19) (Figura 5C). En el tratamiento de 500 ppm de AG la variación en el porcentaje de germinación fue desde 4.77 % (familia 18) hasta 80.97 % (familia 4) (Figura 5D).

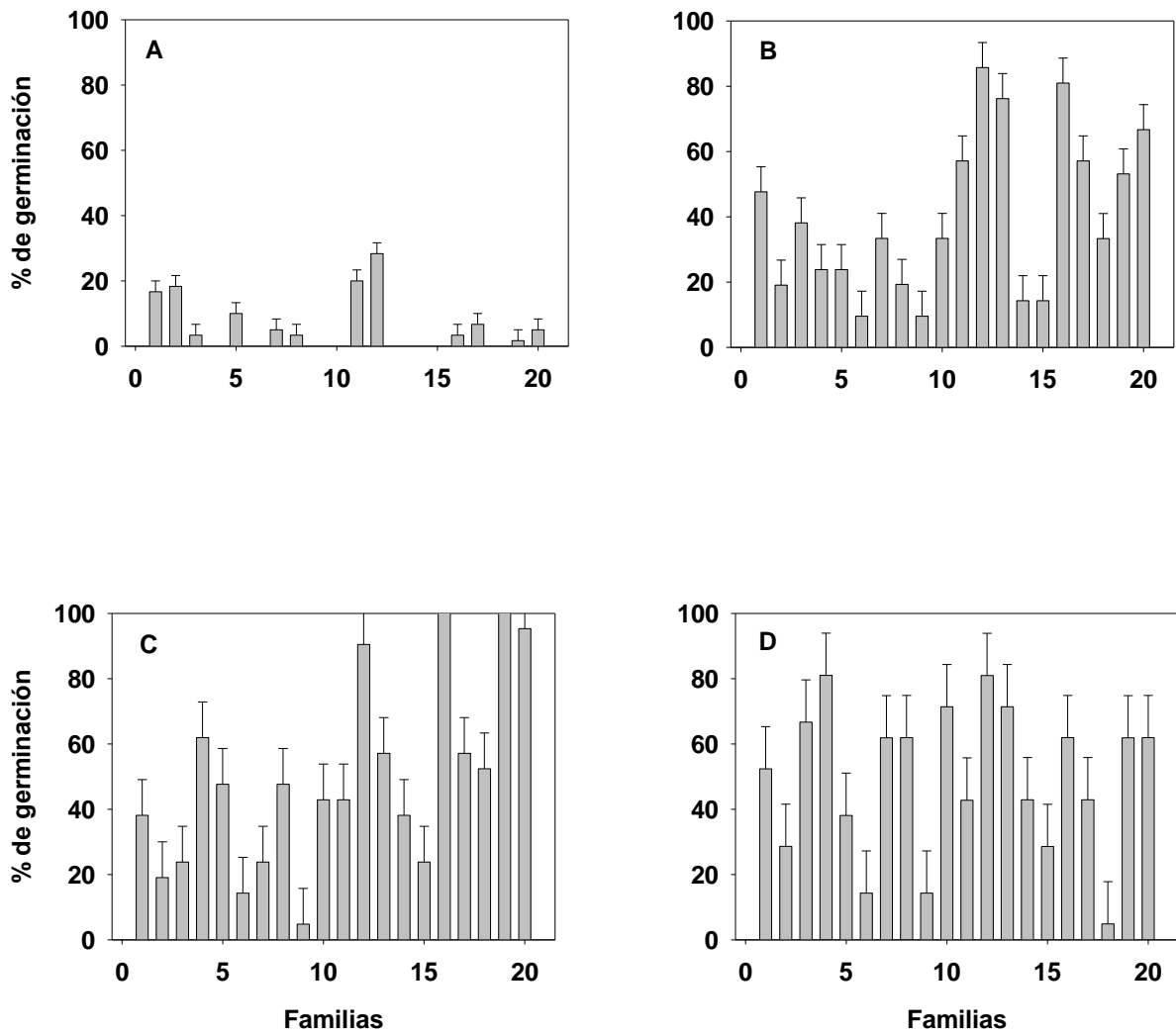


Figura 5. Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las 20 familias de la población Yecorato, en los 4 tratamientos con ácido giberélico: 0 ppm de AG (A), 125 ppm de AG (B), 250 ppm de AG (C) y 500 ppm de AG (D).

6.1.4.2. Población Mazocahui

En el tratamiento de 0 ppm el intervalo de variación fue desde 0 % (familia 1) hasta 28.33 % (familia 13) (Figura 6A). En el tratamiento de 125 ppm la variación en la germinación fue desde 0 % (familia 1) hasta 42.87 % (familia 19) (Figura 6B). En el tratamiento de 250 ppm la variación en el porcentaje de germinación fue desde 0 % (familia 1) hasta 61.90 % (familia 20) (Figura 6C). En el tratamiento de 500 ppm la variación en el porcentaje de germinación fue desde 0 % (familia 1) hasta 42.87 % (familia 17) (Figura 6D).

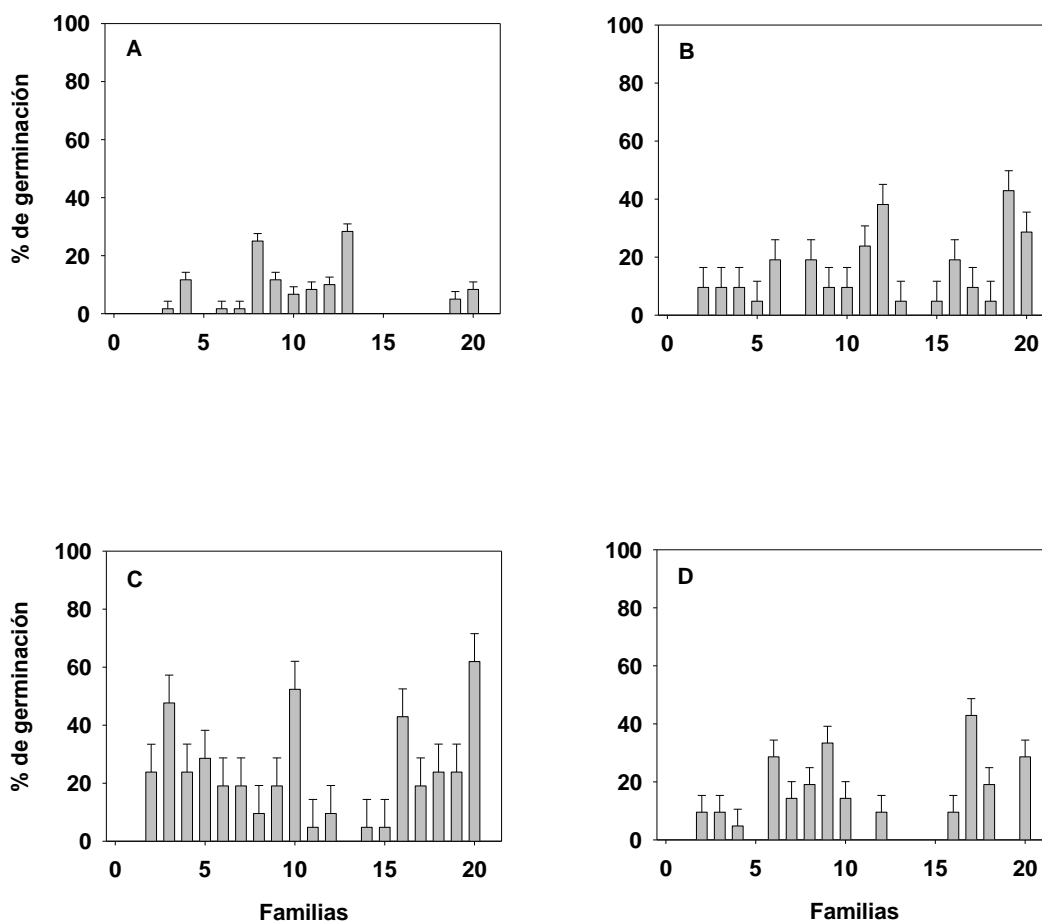


Figura 6. Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las 20 familias de la población Mazocahui, en los 4 tratamientos con ácido giberélico: 0 ppm de AG (A), 125 ppm de AG (B), 250 ppm de AG (C) y 500 ppm de AG (D).

6.1.4.3. Población Presa Oviachic

En el tratamiento de 0 ppm el intervalo de variación fue desde 0 % (familia 1) hasta 16.67 % (familia 4) (Figura 7A). En el tratamiento de 125 ppm la variación en la germinación fue desde 0 % (familia 1) hasta 19.30 % (familia 4) (Figura 7B). En el tratamiento de 250 ppm la variación en el porcentaje de germinación fue desde 0 % (familia 1) hasta 14.30 % (familia 13) (Figura 7C). En el tratamiento de 500 ppm la variación en el porcentaje de germinación fue desde 0 % (familia 1) hasta 38.10 % (familia 2) (Figura 7D).

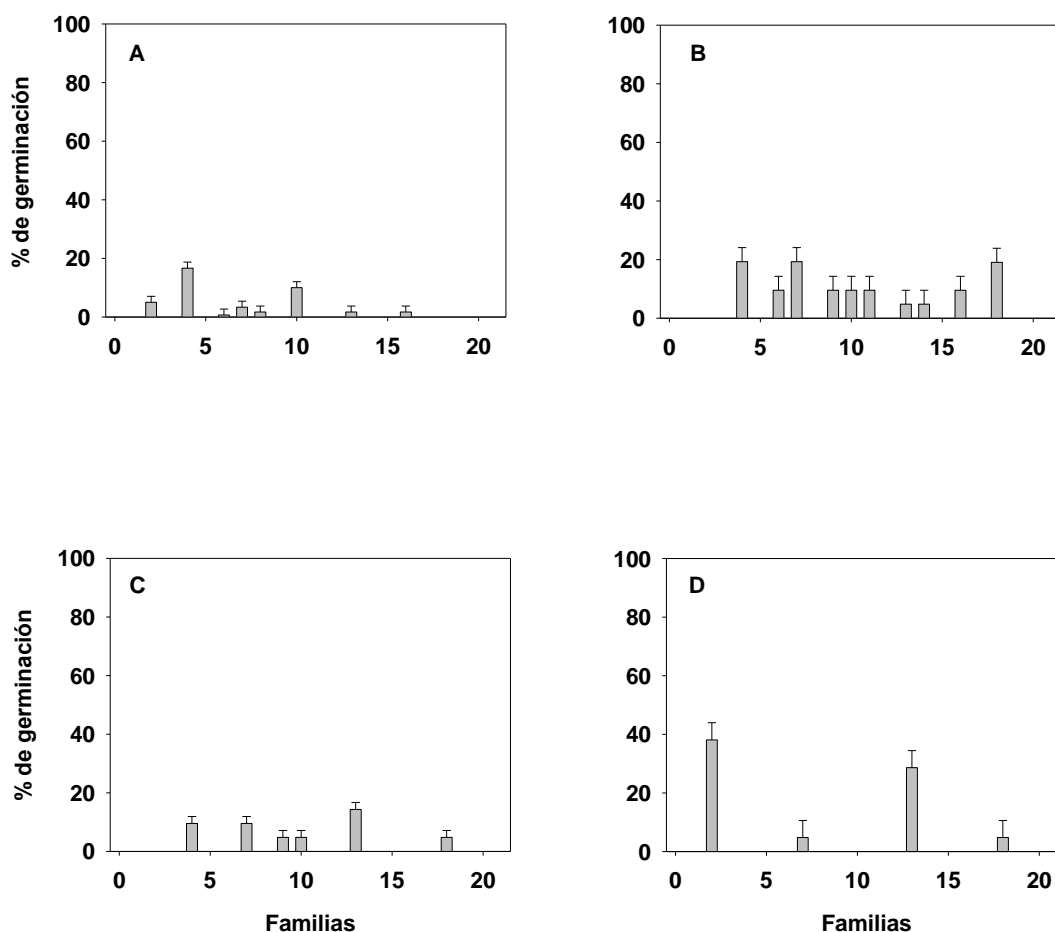


Figura 7. Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las 20 familias de la población Presa Oviachic, en los 4 tratamientos con ácido giberélico: 0 ppm de AG (A), 125 ppm de AG (B), 250 ppm de AG (C) y 500 ppm de AG (D).

6.1.4.4. Población Buyubampo

En el tratamiento de 0 ppm el intervalo de variación fue desde 0 % (familia 2) hasta 3.33 % (familia 11) (Figura 8A). En el tratamiento de 125 ppm la variación en la germinación fue desde 9.53 % (familia 10) hasta 100 % (familia 9) (Figura 8B). En el tratamiento de 250 ppm la variación en el porcentaje de germinación fue desde 14.30 % (familia 9) hasta 90.47 % (familia 7) (Figura 8C). En el tratamiento de 500 ppm la variación en el porcentaje de germinación fue desde 4.77 % (familia 6) hasta 85.70 % (familia 4) (Figura 8D).

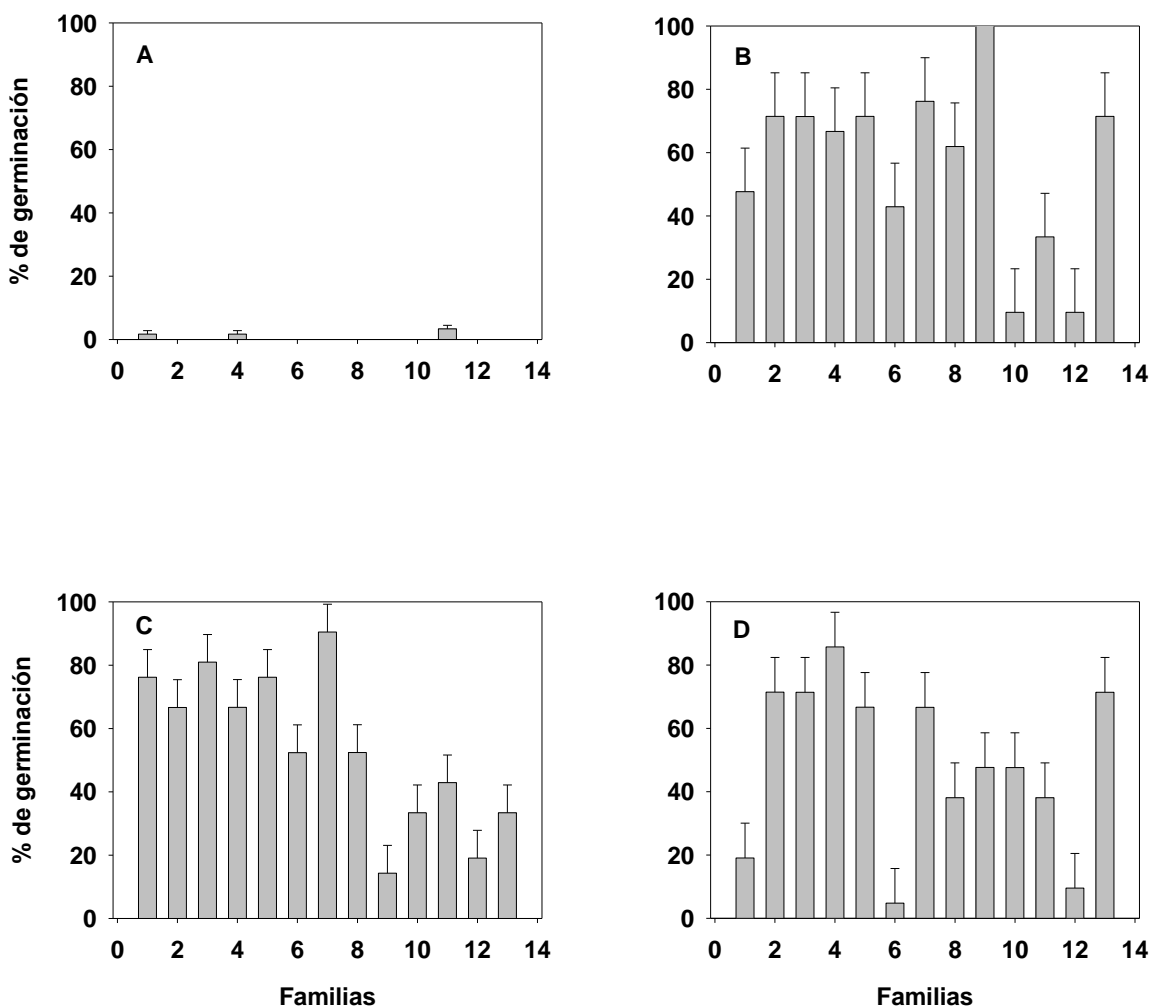


Figura 8. Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las 13 familias de la población Buyubampo, en los 4 tratamientos con ácido giberélico: 0 ppm de AG (A), 125 ppm de AG (B), 250 ppm de AG (C) y 500 ppm de AG (D).

6.1.4.5. Población Lo de Vega

Se presentaron diferencias significativas en el porcentaje de germinación en los cuatro tratamientos de ácido giberélico (Figura 9).

En el tratamiento de 0 ppm el intervalo de variación fue desde 0 % (familia 2) hasta 43.33 % (familia 11) (Figura 9A). En el tratamiento de 125 ppm la variación en la germinación fue desde 0 % (familia 2) hasta 57.17 % (familia 16) (Figura 9B). En el tratamiento de 250 ppm la variación en el porcentaje de germinación fue desde 4.77 % (familia 2) hasta 90.47 % (familia 13) (Figura 9C). En el tratamiento de 500 ppm la variación en el porcentaje de germinación fue desde 9.53 % (familia 17) hasta 80.93 % (familia 15) (Figura 9D).

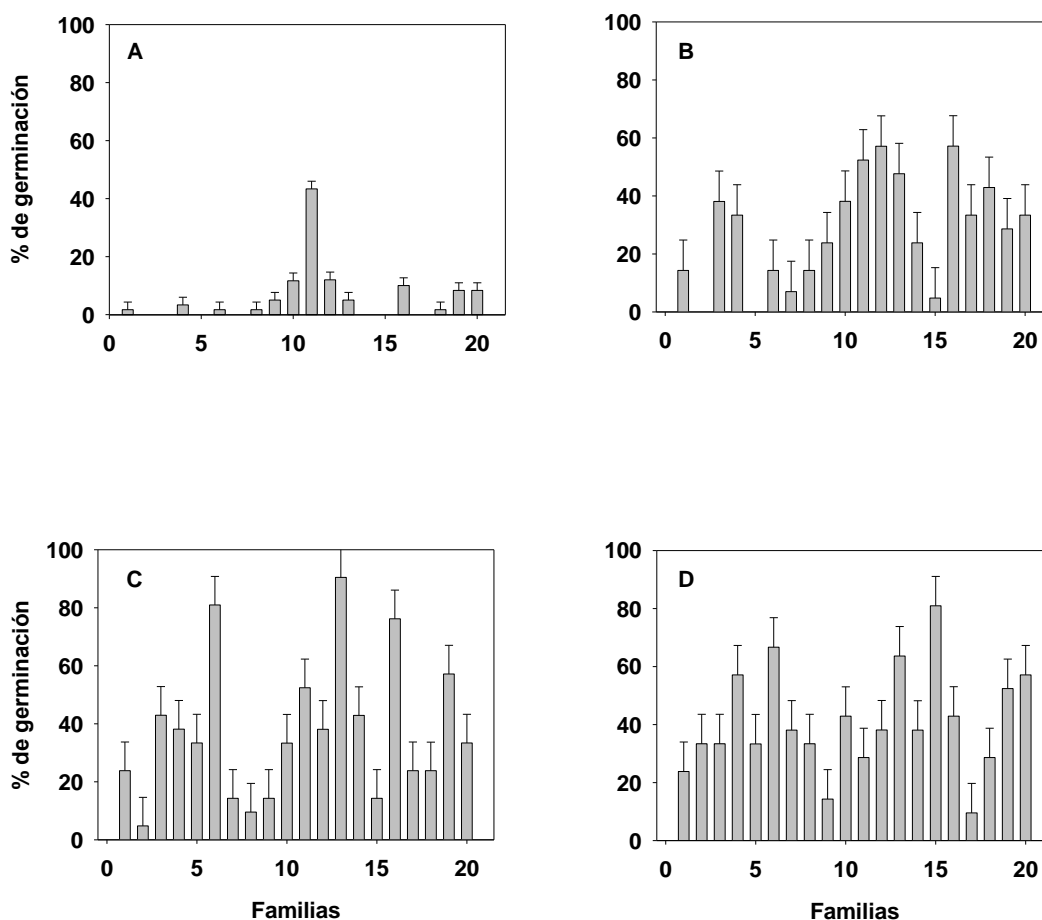


Figura 9. Medias (± 1 error estándar) del porcentaje de germinación en las 20 familias de la población Lo de Vega, en los 4 tratamientos con ácido giberélico: 0 ppm de AG (A), 125 ppm de AG (B), 250 ppm de AG (C) y 500 ppm de AG (D).

6.1.5. Distribución de la variación en la capacidad de germinación

En el porcentaje de germinación, la mayor cantidad relativa de variación promedio en los cuatro tratamientos se distribuyó entre familias, seguido entre poblaciones y dentro de familias (cuadro 5). En el porcentaje de germinación la variación entre familias explicó 39.21 % (Cuadro 6). La variación distribuida entre las poblaciones 34.30 % y la variación dentro de familias fue 26.49 % (Cuadro 6). De la variación total observada en la capacidad de germinación en los cuatro tratamientos, en promedio 73.51 % tiene una base genética, de la cual 46.34 % se distribuyó entre y 53.66 % dentro de las poblaciones (entre familias) (Cuadro 6).

Estos resultados coinciden con los publicados por Hernández-Verdugo *et al.* (2008), quienes en un estudio en ocho características fenotípicas mostraron que las poblaciones silvestres de *C. annuum* del noroeste de México mantienen elevados niveles de variación genética, y la mayor parte de esta variación se distribuyó dentro de sus poblaciones.

Cuadro 6. Componentes de varianza expresados en porcentajes de la variación total entre poblaciones (V_{EP}), entre familias (V_{EF}) y dentro de familias (V_{DF}). Variación genética total (V_{GT}), variación genética entre poblaciones (V_{GP}), variación genética entre familias (V_{GF}) y heredabilidad en sentido amplio (H^2) para el porcentaje de germinación en los tratamientos 0, 125, 250 y 500 ppm de AG, en las poblaciones de *C. annuum* silvestre del noroeste de México.

Tratamiento	Componentes de varianza			V_{GT}	V_{GP}	V_{GF}
	V_{EP}	V_{EF}	V_{DF}			
0 ppm	3.30	67.81	28.89	71.11	4.64	95.36
125 ppm	44.07	29.84	26.09	73.91	59.63	40.37
250 ppm	40.77	36.36	22.87	77.13	52.86	47.14
500 ppm	49.04	22.84	28.12	71.88	68.22	31.78
Media	34.30	39.21	26.49	73.51	46.34	53.66

6.1.6. Heredabilidad

Hubo una elevada variación en la heredabilidad entre poblaciones y tratamientos en el porcentaje de germinación (Cuadros 7). En el porcentaje de germinación, en el tratamiento 0 ppm la heredabilidad varió desde 0.00 (Buyubampo) hasta 0.81 (Lo de Vega), con una media de 0.54. En el tratamiento 125 ppm la heredabilidad varió desde 0.18 (Presa Oviachic) hasta 0.76 (Yecorato), con una media de 0.45. En el tratamiento 250 ppm de AG la heredabilidad varió desde 0.41 (Presa Oviachic) hasta 0.69 (Buyubampo), con una media de 0.56, y en el tratamiento 500 ppm de AG la heredabilidad varió desde 0.32 (Yecorato) hasta 0.61 (Buyubampo), con una media de 0.47 (cuadro 7). El promedio de la heredabilidad considerando las cinco poblaciones y los cuatro tratamientos de AG fue 0.51.

Estos resultados indican que el genotipo y el ambiente tienen aproximadamente la misma importancia en la regulación de las semillas de chile silvestre del noroeste de México (en promedio 51 % contribuye el genotipo y 49 % el ambiente).

Cuadro 7. Valores de heredabilidad en sentido amplio estimados en cada una de las poblaciones de *C. annuum* silvestre en los tratamientos de 0, 125, 250 y 500 partes por millón (ppm) de ácido giberélico (AG).

Población	Tratamiento (ppm de AG)				Media
	0	125	500	1000	
Mazocahui	0.70	0.42	0.44	0.57	0.53
Presa	0.54	0.18	0.41	0.41	0.39
Oviachic					
Yecorato	0.63	0.76	0.66	0.32	0.59
Lo de Vega	0.81	0.42	0.62	0.42	0.57
Buyubampo	0.00	0.48	0.69	0.61	0.45
Media	0.54	0.45	0.56	0.47	0.51

6.2. Variación en el peso promedio de semilla

El peso de semilla varió entre y dentro de las poblaciones (Cuadro 8). El peso promedio de semilla varió desde 1.81 (población Presa Oviachic) hasta 4.09 (población Lo de Vega) (Cuadro 8). Dentro de cada población las familias mostraron elevada variación, como se muestra en sus valores mínimos y el rango. El peso de la semilla mostró mayor variación en la población Presa Oviachic, con un rango de 5.90 mg (Cuadro 8), mientras que la población Mazocahui presentó un rango de 2.40 mg (Cuadro 8). Estas diferencias entre el peso de las semillas entre y dentro de las poblaciones es atribuida a causas genéticas y ambientales entre y dentro de las poblaciones estudiadas.

Cuadro 8. Media (± 1 EE), valores mínimos, máximos y rango del peso de semilla (mg) de las familias de las poblaciones de chile silvestre estudiadas.

Población	Media	Mínimo – Máximo	Rango
Yecorato	3.47 \pm 0.04	1.90 – 5.01	3.11
Mazocahui	2.79 \pm 0.03	1.70 – 4.10	2.40
Presa Oviachic	1.81 \pm 0.03	0.90 – 6.80	5.90
Buyubampo	2.94 \pm 0.05	1.40 – 4.70	3.30
Lo de Vega	4.09 \pm 0.04	2.20 – 5.70	3.50

6.2.1. Relaciones entre peso de semilla con el porcentaje final de germinación

El análisis de regresión efectuado con todas las réplicas de las 93 familias de todas las poblaciones en los cuatro tratamientos mostró una relación positiva y significativa entre el peso promedio de semilla y el porcentaje final de germinación ($R= 0.11$, $F= 137.2509$, $P= 0.0001$) (Figura 10), lo cual indica que las semillas de mayor peso germinaron en mayor porcentaje.

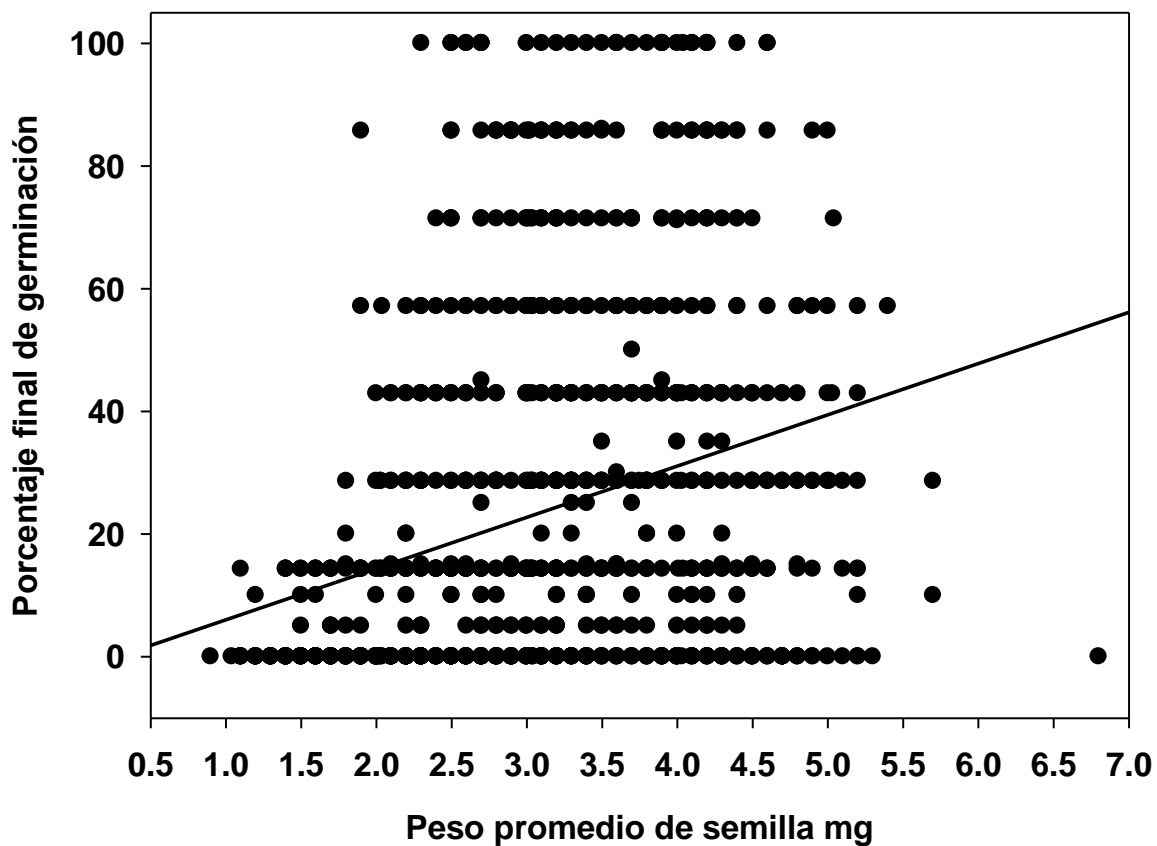


Figura 10. Relación entre peso promedio de semilla con el porcentaje final de germinación de todas las réplicas de las familias de las 5 poblaciones en los cuatro tratamientos de AG.

6.2.1.1. Relaciones entre peso promedio de semilla y porcentaje final de germinación de las familias de las cinco poblaciones en cada tratamiento con ácido giberélico

El peso promedio de semilla se correlacionó de forma positiva y significativamente con el porcentaje de germinación en los tratamientos 125, 250 y 500 ppm de AG (Cuadro 10, Figura 11). En el tratamiento de 0 ppm de AG la relación también fue positiva pero no significativa (Figura 10). Estos resultados indican que las semillas de mayor peso tienen mayores probabilidades de germinar.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Hernández-Verdugo *et al.* (2010), quienes reportaron que las semillas de mayor peso germinaron en mayor porcentaje en la una población del noroeste de México.

Cuadro 9. Regresiones lineales entre el peso promedio de semillas con los porcentajes promedio de germinación de las 93 familias de las cinco poblaciones de chile silvestre en cada tratamiento de AG (ppm).

Tratamiento	Ajuste lineal	R ²	F	P
0	$y = -0.16 + 1.46x$	0.033	3.0990	0.0817
125	$y = -2.45 + 9.33x$	0.131	13.7069	0.0004
250	$y = 1.36 + 9.79x$	0.135	14.2561	0.0003
500	$y = -27.24 + 9.39x$	0.446	73.4233	≤0.0001

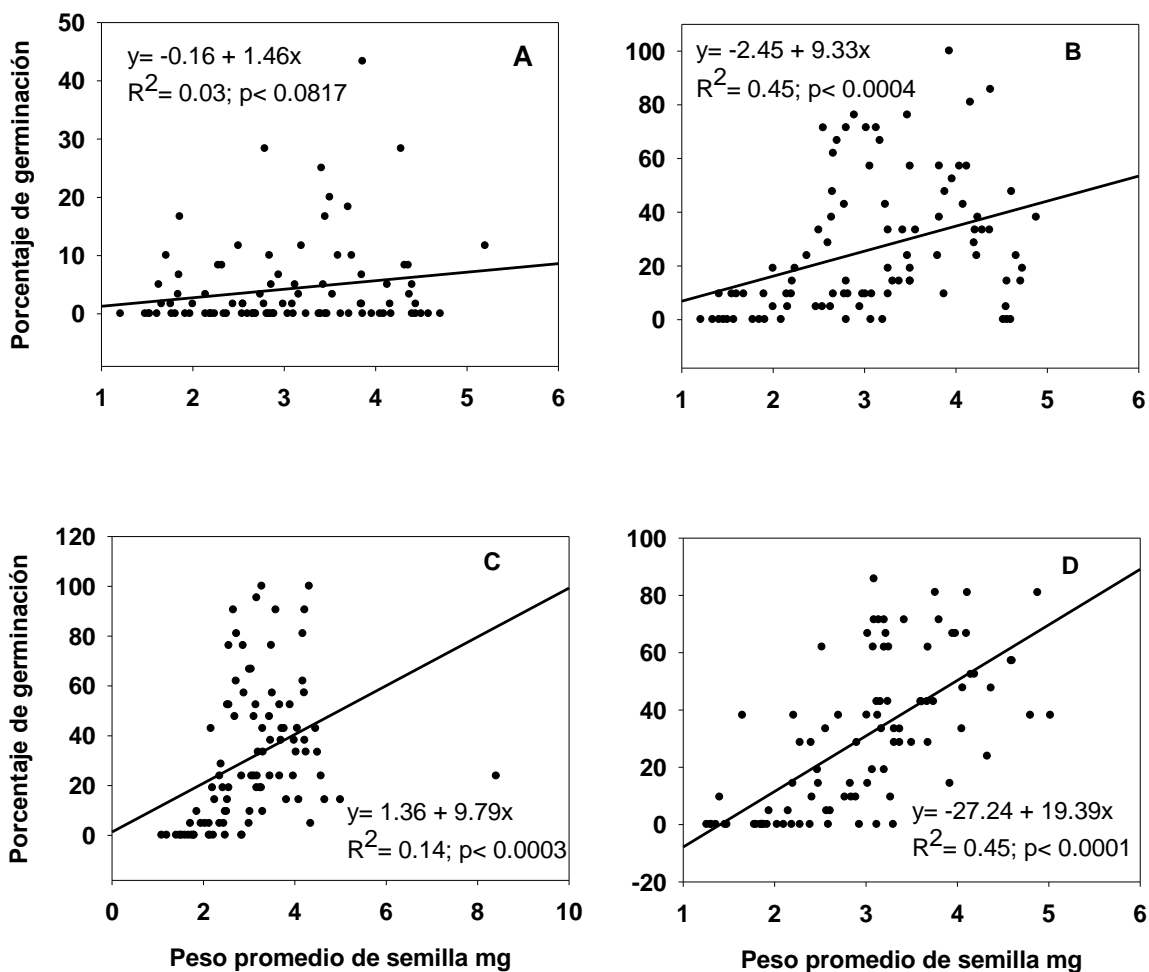


Figura 11. Relación entre el peso promedio de semilla y el porcentaje final de germinación de las familias en los cuatro tratamientos con ácido giberélico (A= 0, B = 125, C = 250, D = 500 ppm).

VII. CONCLUSIONES

Las semillas germinaron en mayor porcentajes en los tratamientos con AG, indicando que el AG es un promotor eficiente de la germinación de las semillas de *C. annuum* silvestre.

Las poblaciones estudiadas se diferenciaron significativamente en el porcentaje final de germinación en todos los tratamientos de AG, indicando que las semillas de estas poblaciones variaron en su sensibilidad o respuesta al AG.

De la variación total observada en la capacidad de germinación, en promedio 60.2 % tiene una base genética. De esta proporción de variación genética, 47.4 % se distribuyó entre las poblaciones y 52.6 % dentro de las poblaciones. Estos resultados indican que las poblaciones de *C. annuum* silvestre mantienen relativamente altos niveles de variación genética entre y dentro de sus poblaciones.

La heredabilidad promedio de las cinco poblaciones en los cuatro tratamientos de AG fue 0.51, indicando que el genotipo y el ambiente tienen una importancia relativa similar en la regulación de la germinación de las semillas de *C. annuum* silvestre.

El porcentaje de germinación de las poblaciones no se correlacionó significativamente con los factores geográficos y climáticos de los sitios de colecta, por lo que no se puede afirmar que tales diferencias pueden ser consideradas como adaptaciones a las condiciones ecológicas locales de los sitios de origen de las poblaciones.

El peso de las semillas varió significativamente entre y dentro de las poblaciones y se correlacionó positivamente con el porcentaje de germinación en los cuatro

tratamientos de AG, indicando que el peso de las semillas es un factor importante en la germinación de las semillas de *C. annuum* silvestre.

VIII. LITERATURA CITADA

- Baskin C. C. and Baskin J. M. 2014. *Seeds. Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Second Edition. Academic Press. San Diego CA, USA. 1586 p.
- Cano-Vázquez A., López-Peralta M. C., Zavaleta-Mancera H. A., Cruz-Huerta N., Ramírez I., Gardea-Béjar A. y González-Hernández V. A. 2015. Variación en grados de latencia en semillas entre colectas de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*). *Botanical Sciences* 93: 175-184.
- Delgado J. A., Serrano J. M., López F. and Acosta F. J. 2008. Seed size and germination in the Mediterranean fire-prone shrub *Cistus ladanifer*. *Plant Ecology* 197: 269-276.
- Evans A. S., and Cabin R. J. 1995. Can dormancy affect the evolution of post-germination traits? The case of *Lesquerella fendern*. *Ecology* 76: 344-356.
- Falconer D. S. and Mackay T. F. C. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. 4th edn. Pearson Prentice Hall Longman London UK. 464 p.
- Hernández-Verdugo S. 2018. *El Chile Silvestre. Ecología, Evolución y Genética*. Colegio de Postgraduados y Universidad Autónoma de Sinaloa, México. 160 p.
- Hernández-Verdugo S., Guevara Gonzáles R.G., Rivera- Bustamante R.F., Vazquez-Yanes C. y Oyama K. 1998. Los parientes silvestres del chile (*Capsicum* spp.) Como recursos genéticos. *Boletín de la sociedad botánica de México* 62: 171-181.
- Hernández-Verdugo S., Davila P. y Oyama K. 1999. Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 64: 65-84.
- Hernández-Verdugo S., Luna-Reyes R. and Oyama K. 2001a. Genetic structure and differentiation of wild and domesticated populations of *Capsicum annuum* from Mexico. *Plant Systematic and Evolution* 226: 129-142.
- Hernández-Verdugo S., Oyama K. and Vázquez-Yanez C. 2001b. Differentiation in seed germination among populations of *Capsicum annuum* along a latitudinal gradient in Mexico. *Plant Ecology* 155: 245-257.

- Hernández-Verdugo S., Guevara-González R.G., Rivera-Bustamante R.F. and Oyama K. 2001c. Screening wild plants of *Capsicum annum* for resistance to pepper huasteco virus: presence of viral DNA and differentiation among populations. *Euphytica* 122: 31-36.
- Hernández-Verdugo S., González-Rodríguez A., Sánchez-Peña P., Casas A. and Oyama K. 2006. Estructura y diferenciación genética de poblaciones silvestres y domesticadas de chile (*Capsicum annum*) del noroeste de México analizada con isoenzimas y RAPDs. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 25-29.
- Hernández-Verdugo S., López-España R.G., Sánchez-Peña P., Villarreal-Romero M., Parra-Terraza S., Porrás F. y Corrales-Madrid J.L. 2008. Variación fenotípica entre y dentro de poblaciones silvestres de chile del noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 323-330.
- Hernández-Verdugo S., López-España R.G., Porrás F., Parra-Terraza S., Villarreal-Romero M. y Osuna-Enciso T. 2010. Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre. *Agrociencia* 44: 667-677.
- Hernández-verdugo S., Porrás F., López-España R.G., Villarreal-Romero M., Parra-Terraza S. y Osuna-Enciso T. 2012. Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile silvestre del noroeste de México. *Polibotánica* 33: 175-191.
- Kosiński I. 2008. Long-term variability in seed size seedling establishment of *Maianthemum bifolium*. *Plant Ecology* 194: 149-156.
- López-España R.G., Hernández-Verdugo S., Parra-Terraza S., Porrás F., Pacheco-Olvera A., Valdez-Ortiz A., Osuna-Enciso T. Muy-Rangel M.D. 2016. Diferenciación geográfica de poblaciones de chile silvestre (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*) del noroeste de México. *Revista Phytion* 85: 131-141.
- Meyer S.E., Allen P.S. and Beckstead J. 1997. Seed germination regulation in *Bromus tectorum* (Poaceae) and its ecological significance. *Oikos*. 78: 475-485. Consultado en octubre 2019.

- Meyer S.E. and Allen P. S. 1999. Ecological genetics of seed germination regulation in *Bromus tectorum* L. I. Phenotypic variance among and within population. *Oecologia* 120: 27-34
- Obeso J. R. 1993. Seed mass variation in the perennial herb *Asphodelus albus*: sources of variation and position effect. *Oecologia* 93: 571-575.
- Oyama K., Hernández-Verdugo S., Sánchez C., González-Rodríguez A., Sánchez-Peña P., Garzón-Tiznado J.A., y Casas A. 2006. Genetic structure of wild and domesticated populations of *Capsicum annuum* (Solanaceae) from northwestern Mexico analyzed by RAPDs. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53: 553-562.
- Pacheco-Olvera A., Hernández-Verdugo S., Rocha-Ramírez V., González-Rodríguez A. and Oyama K. 2012. Genetic Diversity and Structure of Pepper (*Capsicum Annuum* L.) from Northwestern Mexico Analyzed by Microsatellite Markers. *Crop Science* 52: 231-241.
- Pickersgill B. 1984. Migration of chilli peppers *Capsicum* spp. In the Americas en Stone D. (Ed.). *Papers of the Peabody Museum of Archeology and Ethnology*, Vol. 76. Harvard University Press. pp. 105-123.
- Sánchez-Salas J., Flores J. y Martínez-García E. 2006. Efecto del tamaño de la semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire. (Cactaceae), especie amenazada de extinción. *Interciencia* 31: 371-375.
- Schutz W. and Rave G. 2003. Variation in seed dormancy of the wetland sedge, *Carex elongata*, between populations and individuals in two consecutive years. *Seed Science Research* 13: 315-322.
- Willenborg C. J., Wildeman J. C., Miller A. K., Rossnagel B. G. and Shirliffe S. J. 2005. Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials. *Crop Science* 45: 2023-2059.