



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA

**Alelopatía y tolerancia al incremento térmico como estrategia de
permanencia de la maleza *Aldama dentata* (Asteraceae)**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN BIOTECNOLOGÍA

PRESENTA:

ING. ALEJANDRA ARMENTA MEDRANO

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. SUSANA VALENCIA DÍAZ



Cuernavaca, Morelos, diciembre 2022

AGRADECIMIENTOS

Con mucho esfuerzo he logrado culminar esta meta académica, por lo cual agradezco el apoyo brindado del Centro de Investigación en Biotecnología (CEIB), por los conocimientos aportados, la oportunidad de seguir estudiando y superarme profesionalmente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico (con número CVU: 753805) que me brindo para continuar con mi formación académica.

Y al laboratorio de Botánica Estructural, por permitirme realizar mi trabajo de investigación y proporcionarme los medios para que se llevara a cabo.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A Dios por darme las fuerzas, amor y valor para seguir adelante.

A la Dra. Susana Valencia Díaz por ser la mejor guía que pude haber encontrado, gracias a su paciencia, ardua dedicación y comprensión, pude lograrlo. Sin duda, un gran ejemplo a seguir.

A la Dra. Irene Perea Arango, Jesús Arellano, Joel Flore Rivas e Ismael León, por el apoyo y conocimientos transmitidos.

DEDICATORIAS

A mis más grandes amores, Dominic Alfredo Laureano Armenta y Juan Laureano, por apoyarme y brindarme tanto amor, gracias por permitirme subir a esta barca, remar juntos y nunca soltarme de la mano. LOS AMO INFINITAMENTE.

A mi madre M. Elvira Armenta Medrano por ser la persona que es y siempre apoyarme en todo, por darme la fortaleza y el cariño que siempre me brinda, por todos los valores que me inculco y por nunca dejarme sola. TE AMO.

A mi hermana Jessica Sosa por siempre confiar en mí e impulsarme a ser lo que soy. Ser tu hermana, es una de las mejores cosas que me han pasado en la vida.

A mi cuñado Orthon Vargas, gracias por encaminarme y apoyarme en todo momento.

A mi comadre Cristina Sosa Armenta por nunca dejarme atrás y jalarme hasta salir de las penumbras.

A mi hermano Uriel Sosa, que, a pesar de la distancia, siempre está al pendiente de mí.

A mi hermana Julieta Sosa, por inculcarme tenacidad y perseverancia.

A mi hermana Massiel Armenta por ser una persona noble y amorosa.

A mi hermano Oliverio Sosa por su cariño.

A mis sobrinos por darme tanta felicidad en la vida, son una gran bendición de Dios, Sebastián, Maximiliano, Ivan, Sofía, Emmanuel, Camila, Frida, Paulina, Leo, Lía, Natalia, Bruno y Violeta.

A mis tíos por nunca dejarme sola: Oreste, Ariadna y Josué Falcon. A mi suegra Hortencia y a mis cuñados, Yarely, Angel y Vianey Laureano, por todo el apoyo y cariño que me han brindado.

A mi padre † que sigue presente en cada paso que doy y me cuida desde el cielo, gracias por tanto amor y nunca dejarme. Siempre serás el mejor papá.

A mi abuelita Hermila †, por el amor y cariño que siempre nos dio.

A mis amigos y compañeros de viaje, Itzel cuevas, Elizabeth Corbala, Anahi Flores, Itzel reyes, Grecia coronel, José Alberto Valerio y Rene Ricárdez, gracias por nunca dejarme caer, sin duda son pilares que me sostienen en las tormentas más fuertes de mi vida.

**En la profundidad del invierno, aprendí que en mi interior hay un verano
invencible (Albert Camus).**

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
AGRADECIMIENTOS PERSONALES	iii
DEDICATORIAS	iv
INDICE GENERAL	1
INDICE DE CUADROS	3
INDICE DE FIGURAS	5
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Plantas arvenses	4
2.2 Estrés térmico, defensa e impacto en las plantas	4
2.3 Alelopatía.....	7
2.4 Especie de estudio	9
2.4.1 Perfil fitoquímico de <i>Aldama dentata</i>	10
2.4.2 Importancia del cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	1
3. JUSTIFICACIÓN	1
4. HIPÓTESIS	2
5. OBJETIVOS	3
5.1 Objetivo General	3
5.2 Objetivos Específicos.....	3
6. MATERIALES Y MÉTODOS	4
6.1 Estrategia experimental	4
6.2 Descripción del área de colecta	4
6.3 Colecta de material vegetal.....	5
6.4 Estrés por altas temperaturas	5
6.5 Extracción con disolventes orgánicos	6
6.6 Experimentos de germinación con jitomate (Alelopatía)	7
6.7 Análisis estadístico	9
7. RESULTADOS	11

7.1	Efecto causado por altas temperaturas en semillas de <i>Aldama dentata</i>	11
7.1.1	Estructura	11
7.1.2	Germinación de <i>Aldama dentata</i>	14
7.1.3	Tiempo medio de germinación de semillas de <i>A. dentata</i>	15
7.1.4	Tasa relativa de crecimiento en plántulas de <i>A. dentata</i>	17
7.1.5	Contenido de clorofila a y b de las plántulas de <i>A. dentata</i>	18
7.2	Alelopatía.....	19
7.2.1	Germinación	19
7.2.2	Tiempo medio de germinación en semillas de jitomate.	20
7.2.3	Tasa de crecimiento relativo	22
7.2.4	Contenido de Clorofila a y b.....	23
8.	DISCUSIÓN	24
9.	PERSPECTIVAS	28
10.	LITERATURA CITADA.....	29

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estudios realizados en semillas de diferentes especies expuestas a temperaturas altas y su efecto en la germinación.	7
Cuadro 2. Estudios realizados sobre el efecto alelopático que presentan especies de la familia Asteraceae sobre cultivos.	9
Cuadro 3. Descripción de estudios realizados sobre la actividad de metabolitos secundarios (MS) que contienen.....	1
Cuadro 4. Rendimiento en peso seco de los extractos obtenidos de <i>A. dentata</i> utilizando disolventes de polaridad creciente, a partir del total del material vegetal seco (369.31g). La fórmula empleada para el cálculo del rendimiento (%) $\text{peso del extracto} \times 100 / \text{peso total del material seco}$	7
Cuadro 5. Diseño experimental con tres medios de cultivo utilizando semillas desinfectadas con hipoclorito de sodio (Clorox® 6%) al 1%, 3% y 5%.	8
Cuadro 6. Diseño experimental de germinación de semillas de <i>S. lycopersicum</i> utilizando los extractos de hexano, diclorometano y metanol con concentraciones de 0, 0.01, 0.1, 1, 10, 100 y 1000 mg/mL. En cada uno de los 21 tratamientos se colocaron 10 cajas Petri con 20 semillas cada una.	9
Cuadro 7. Análisis nutrimental de las semillas de <i>A. dentata</i> que fueron sometidas a cuatro temperaturas. Los datos están expresados en porcentaje.	11
Cuadro 8. Resultados obtenidos en la germinación de <i>A. dentata</i> bajo estrés térmico. Se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad	14
Cuadro 9. Velocidad de germinación en semillas de <i>A. dentata</i> bajo estrés térmico. Se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad	15
Cuadro 10. Tasa relativa de crecimiento en plántulas de <i>A. dentata</i> . se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad	17
Cuadro 11. Contenido de clorofila a en plántulas de <i>A. dentata</i> . se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad	18
Cuadro 12. Contenido de clorofila b en plántulas de <i>A. dentata</i> . Se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad	18
Cuadro 13. Análisis de varianza que muestra el efecto en la germinación de semillas de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) bajo diferentes concentraciones de extractos con polaridad creciente (hexano, diclorometano y metanol) de la planta de <i>Aldama dentata</i> en condiciones de laboratorio, se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad.....	20
Cuadro 14. Efecto de la velocidad de germinación en semillas de jitomate con respecto a los extractos y sus concentraciones. Se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad... ..	21

Cuadro 15. Resultados obtenidos con relación a los extractos utilizados y la longitud total de las plántulas de jitomate. Se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad..... 22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capítulos de <i>Aldama dentata</i>	10
Figura 2. Aquenios de <i>Aldama dentata</i> . En la primera Figura se observa que aún están unidas a las reminiscencias de la flor, mientras que en la segunda se aprecian las semillas totalmente limpias.....	5
Figura 3. Diferencias en la cubierta seminal de las semillas de <i>Aldama dentata</i> . A: control, B: semillas expuestas a 26 °C, C: semillas expuestas a 31°C, D: semillas expuestas a 36 °C y E: semillas expuestas a 41°C. A una magnificación de 30x, detector NTS BSD, con una barra de escala de 100µm.....	12
Figura 4. Micrografías de las semillas de <i>Aldama dentata</i> tomadas en el microscopio electrónico de barrido ambiental. A: corte longitudinal de una semilla sin choque térmico, se observa una parte de la testa, cubierta seminal y parte del endospermo; B: cubierta seminal y endospermo de semilla sometida a 26°C; C: Corte longitudinal de semilla sometida a 31°C se observa la testa, cubierta seminal y endospermo; D: Polen incrustado en semilla control; E: gránulos de la semilla observados a 400x.....	13
Figura 5. Micrografías de las semillas de <i>A. dentata</i> en microscopio confocal de barrido laser.	14
Figura 6. Porcentaje de germinación en semillas de <i>A. dentata</i> bajo estrés térmico.	15
Figura 7. El tiempo medio de germinación estima la velocidad de germinación de semillas de <i>A. dentata</i> , a temperatura ambiente (21.6° C), 26°, 31°, 36° y 41°C.	16
Figura 8. Tasa relativa de crecimiento en comparación a las plántulas que crecieron a temperatura ambiente (21.6° C).	17
Figura 9. Contenido de clorofila a y b de plántulas de <i>A. dentata</i> , bajo estrés térmico.	19
Figura 10. Porcentaje de inhibición en la germinación de semillas de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) tratadas con extractos obtenidos por disolventes de polaridad creciente hexano, diclorometano y metanol en diferentes concentraciones 0, 0.01, 0.1, 1, 10, 100 y 1000 ppm de plantas de <i>Aldama dentata</i> (<i>Asteraceae</i>).....	20
Figura 11. Gráficas que presentan la relación que hay entre la velocidad de germinación y los extractos evaluados.....	21
Figura 12. Efecto de los tratamientos utilizados (hexano, diclorometano y metanol) sobre el crecimiento de las plantas de jitomate.....	22
Figura 13. Contenido de clorofila en plántulas de <i>S. lycopersicum</i> . En la primera gráfica se observa el contenido de clorofila a y en la segunda el contenido de clorofila b. ..	23

RESUMEN

Las plantas consideradas “malezas” o “arvenses” comparten características como: alta tasa relativa de crecimiento, hábitos herbáceos o arbustivos, longevidad anual, heliófilas, semillas numerosas y pequeñas, dispersión a grandes distancias, semillas latentes; además de la posible emisión de metabolitos secundarios que actúan como agentes alelopáticos que inhiben a plantas de otras especies (i.e. cultivos). Debido a su tolerancia a sitios con alta irradiación y temperatura, es predecible que este grupo funcional sea más exitoso ante un panorama de incremento térmico global (cambio climático). Específicamente, si las semillas tienen latencia y en consecuencia forman un banco de semillas antes de su germinación, es probable que confronten altas temperaturas, pero se desconoce cuál sería el umbral de temperatura que provoque disminución de su germinación y cambios estructurales en sus semillas. El objetivo de este trabajo fue determinar el posible efecto alelopático de extractos de las partes aéreas de la arvense *Aldama dentata* L. sobre la germinación de *Solanum lycopersicum* L. (jitomate); así mismo se evaluó el efecto del incremento térmico en la estructura y germinación de semillas de la maleza anual *A. dentata*. Se obtuvieron extractos hexánicos, diclorometánicos y metanólicos de plantas de *A. dentata*, y se emplearon diferentes concentraciones en los experimentos de germinación de jitomate. Se midió el porcentaje y tiempo medio de germinación, a las plántulas se les midió la tasa relativa de crecimiento y el contenido de clorofila **a** y **b**. Por otro lado, semillas de *A. dentata* fueron sometidas a temperatura ambiente (21.6° C), 26, 31, 36 y 41° C, se registraron cambios en la estructura de la semilla y se evaluó el porcentaje y tiempo medio de germinación. En plántulas se calculó la tasa relativa de crecimiento y contenido de clorofila a y b. A mayor concentración de extractos hubo mayor inhibición de la germinación y del crecimiento de *S. lycopersicum*. Los niveles de clorofila fueron menores cuando las plántulas provenían de semillas germinadas con extractos metanólicos. Respecto al efecto de la temperatura, se observa modificaciones anatómico-estructurales en las semillas sometidas a altas temperaturas; así mismo, este fue un factor que inhibió la germinación y velocidad de semillas, así como el crecimiento de plantas de *A. dentata*. Los resultados del presente trabajo evidencian que malezas arvenses podrían ejercer alelopatía en sus interacciones con cultivos como el jitomate, por otro lado, los resultados no soportan la predicción de que las semillas de malezas podrían tolerar altas temperaturas. Sugerimos escalar la investigación alelopática empleando un sistema en invernadero para corroborar los resultados del laboratorio.

Palabras clave: Aleloquímicos, arvenses, metabolitos secundarios, *Solanum lycopersicum*.

ABSTRACT

Plants considered “weeds” share characteristics such as: high relative growth rate, herbaceous or shrubby habits, annual longevity, heliophylls, numerous and small seeds, long-distance dispersal, dormant seeds; in addition to the possible emission of secondary metabolites that act as allelopathic agents that inhibit plants of other species (ie crops). Due to its tolerance to sites with high irradiation and temperature, it is predictable that this functional group will be more successful in a scenario of global thermal increase (climate change). Specifically, if seeds are dormant and thus form a seed bank prior to germination, they are likely to face high temperatures, but the temperature threshold that would cause decreased germination and structural changes in their seeds is unknown. seeds. The objective of this work was to determine the possible allelopathic effect of extracts from the aerial parts of the weed *Aldama dentata* L. on the germination of *Solanum lycopersicum* L. (tomato). Likewise, the effect of the thermal increase on the structure and germination of seeds of the annual weed *A. dentata* was evaluated. Hexanic, dichloromethane and methanolic extractants will be obtained from *A. dentata* plants, and different concentrations were used in the tomato germination experiments. The percentage and average time of germination were measured, the seedlings were measured for the relative growth rate and the content of chlorophyll a and b. On the other hand, the seeds of *A. dentata* were subjected to room temperature, 26, 31, 36 and 41° C, changes in the structure of the seed were recorded and the percentage and mean time of germination were evaluated. In seedlings, the relative growth rate and content of chlorophyll a and b were calculated. At higher concentration of extracts, there was greater inhibition of germination and growth of *S. lycopersicum*. Chlorophyll levels were lower when the seedlings came from seeds germinated with methanolic extracts. Regarding the effect of temperature, anatomical-structural modifications are observed in the seeds exposed to high temperatures; likewise, this was a factor that inhibited the germination, speed and growth of *A. dentata* plants. The results of this work show that weeds could exert allelopathy in their interactions with crops such as tomato, on the other hand, our data will not support the prediction that weed seeds could tolerate high temperatures. We suggest scaling up allelopathic research using a greenhouse system to corroborate laboratory results.

Keywords: Allelochemicals, weeds, secondary metabolites, *Solanum lycopersicum*.

INTRODUCCIÓN

Las plantas poseen una gran plasticidad fenotípica que les permite adaptarse a cambios en su ambiente; no obstante, cambios extremos les provocan estrés (Stotz *et al.*, 2021). Las malezas conforman un grupo funcional que posee mecanismos que les permiten tolerar el efecto de factores estresantes, la colonización y permanencia en cultivos (Clements y Jones, 2021).

El estrés, se refiere a cualquier alteración en las condiciones ambientales que dan como resultado una respuesta fisiológica de la planta por debajo de la óptima de su crecimiento y desarrollo, éste puede ser biótico o abiótico (Shao, 2008. Nawrot-Chorabik *et al.*, 2022). El estrés biótico es causado por la interacción de la planta con organismos, como virus, bacterias, hongos, plantas y animales (Hammond-Kosack y Jones, 2015. Deepika Tripathi *et al.*, 2022). Por su parte, el estrés abiótico es causado por agentes contaminantes (metales pesados, herbicidas, ozono), alta salinidad, deficiencia de nutrientes, exceso o escasez de agua, alta exposición a rayos UV o temperaturas extremas (Atkinson y Urwin, 2012; Deepika Tripathi *et al.*, 2022).

El estrés por calor o estrés por incremento térmico tiene lugar cuando la temperatura ambiental excede el umbral óptimo de determinada especie, y que además dura tiempo suficiente para causar daño irreversible en su crecimiento y desarrollo (Wahid *et al.*, 2007, Fahad *et al.*, 2017). A nivel morfo-anatómico, el efecto del incremento térmico en plantas puede ocasionar quemaduras, inhibición del crecimiento, decoloración de frutos y semillas no desarrolladas; existe información que revela una reducción en el peso, el tamaño y del número de semillas por altas temperaturas (Sano *et al.*, 2016, Fahad *et al.*, 2017), como ocurre en algunas legumbres (Devasirvatham *et al.*, 2010, Anaya- López *et al.*, 2022) y cereales (Djanaguiraman *et al.*, 2010). Así mismo, derivado de la exposición a altas temperaturas, ocurre una disminución en la expansión y número de células del cotiledón (Munier-Jolain y Ney, 1998, Mácová *et al.*, 2022), se reduce la concentración de ácidos grasos insaturados en semillas oleaginosas (*Carthamus tinctorius* L. y *Helianthus annuus* L.) (Canvin, 1965, Mácová K *et al.*, 2022), así como la dureza de la testa de semillas de *Stylosanthes hamata* L. cuando enfrentan temperaturas mayores de 25 °C (Guenni *et al.* 1994, Moreno Fernando *et al.*, 2006). Entre las respuestas

fisiológicas, se disminuye el potencial hídrico de la planta, se acumulan osmolitos, se degrada la clorofila a y b, se interrumpe el flujo de electrones en el fotosistema II y se incrementan las especies reactivas de oxígeno. Además, ocurren cambios hormonales al aumentar la concentración de ácido abscísico (ABA), etileno y brasinoesteroides. A nivel molecular, ocurre la expresión de proteínas de choque térmico, las cuales participan en la respuesta protectora contra altas temperaturas (Luengwilai *et al.*, 2012, Zhiyong Ni *et al.*, 2021). Así mismo, el metaboloma de la planta se modifica en respuesta a este tipo de estrés, se aumenta la producción de metabolitos como carotenoides, terpenos y flavonoides, estos últimos con actividad antioxidante. Incluso existe evidencia que los compuestos orgánicos volátiles de tipo isopreno brindan protección contra altas temperaturas (Peñuelas *et al.*, 2005; Velikova y Loreto, 2005, Mancini *et al.*, 2022).

Se ha pronosticado que para el año 2100 se incrementará la temperatura del planeta (Payus *et al.*, 2022) de 1.8 a 4 °C (Nahar *et al.*, 2015); lo cual impactará negativamente en los cultivos debido a que muchos de ellos tienen un umbral estrecho de tolerancia a la temperatura, tal es el caso de la papa (*Solanum tuberosum* L.; Maroto, 1990, Khaoula Mokrani *et al.*, 2022), jitomate (*Solanum lycopersicum* L.; Vallejo y Estrada, 2004, Guo *et al.*, 2022) y maíz (*Zea mays* L., Wahid *et al.*, 2007, Khaeim *et al.*, 2022). La adaptación exitosa de las malezas podría atribuirse en parte a la capacidad de germinar de sus semillas aún en altas temperaturas y en presencia de metabolitos con actividad alelopática, lo cual favorecería su presencia en cultivos (Clements y Jones, 2021).

De acuerdo con Rice (1984), la alelopatía es un tipo de interacción química donde metabolitos secundarios emitidos por una planta ejercen efectos directos o indirectos, positivos o negativos en el crecimiento de otra planta llamada receptora (Cheng F *et al.*, 2020). Por lo que, las malezas no sólo tendrían ventajas de tolerancia a altas temperaturas, sino que, ejercerían efectos alelopáticos negativos como mecanismo de colonización de los cultivos. Por mencionar un ejemplo, Rivero-Hernández y colaboradores (2020) determinaron los efectos alelopáticos del zacate rosado (*Melinis repens* (Willd.) Zizka) sobre la germinación de chile (*Capsicum annuum*

L.) y jitomate, la presencia de sustancias alelopáticas, emitidas por el zacate rosado disminuyeron y retrasaron la germinación en ambos cultivos.

Debido a lo anterior se hipotetiza que la arvense *Aldama dentata* L. disminuirá la germinación de semillas, el crecimiento y contenido de clorofila de sus plántulas de jitomate y que, debido a que esta especie habita ambientes soleados y con altas temperaturas sus semillas mantendrán su integridad estructural y su capacidad de germinar después de haber estado expuestas a temperaturas altas. Para comprobar la hipótesis anterior se propone investigar el efecto de extractos de *A. dentata* en la germinación de semillas de jitomate y en el crecimiento y contenido de clorofila de sus plántulas. Así mismo, evaluar diferentes temperaturas y su efecto en la estructura seminal y su germinación.

ANTECEDENTES

1.1 Plantas arvenses

Las plantas arvenses crecen en ambientes alterados por el hombre provocando resultados no deseables. La presencia de arvenses limita el desarrollo de cultivos comerciales, ya que compiten por agua, luz y nutrientes (Little *et al.*, 2021, Singh *et al.* 2022). Las malezas sirven de hospederas a insectos y patógenos dañinos a las plantas cultivables, son focos de propagación de enfermedades y aumentan los costos de recolección manual o mecanizada de plantas comerciales (Roschewit *et al.*, 2005, Gourav Sharma *et al.*, 2021), tal es el caso del arroz, se ha estimado que cuando este cultivo crece sin arvenses es mayor el beneficio económico incrementando hasta un 89 % del rendimiento respecto a la presencia de malezas (Zhao *et al.*, 2006). No obstante, cumplen funciones ecológicas importantes, como retención de suelo para evitar la erosión, fuente de alimento para insectos, algunas especies son importantes como flora melífera, son fijadoras de nitrógeno y gracias a sus desechos orgánicos contribuyen a la formación del suelo (Gómez y Rivera, 1995; Jiménez-Vázquez *et al.* 2021).

Aldama dentata L. (Asteraceae), una especie considerada maleza, suele crecer en cultivos de papa, frijol, jitomate, caña de azúcar y maíz (Villaseñor y Espinosa 1998, Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2004); no obstante, también es considerada importante en la flora melífera (Hernández y López, 2012) y como fuente de aceites esenciales (Bombo *et al.*, 2017), se ha investigado, además, su papel como fitorremediadora en suelos contaminados por cobre (Dasgupta-Schubert *et al.*, 2011) y se ha sugerido que posee propiedades antipiréticas (Pelayo *et al.*, 2018; Marylenlid *et al.*, 2020), por lo que podría contener metabolitos de protección contra altas temperaturas.

1.2 Estrés térmico, defensa e impacto en las plantas

Una de las señales de las plantas ante el estrés, es el aumento de producción del Ca²⁺ citoplasmático, adquiriendo tolerancia mediante la reorganización citoesquelética y transducción de señales como las proteínas quinasas activadas por mitógenos y las

dependientes de calcio (Larkindale y Knight, 2002; Wahid *et al.*, 2007; Conde *et al.*, 2011). Estas señales, promueven la producción de antioxidantes y osmolitos que confieren termotolerancia (Iba, 2002; Conde *et al.*, 2011, Rajput *et al.*, 2021). Una de las respuestas fisiológicas de la planta, es acumular osmolitos compatibles entre los que destacan azúcares (sacarosa y fructosa), aminoácidos (prolina y betaína), glicerol y manitol los cuales promueven una buena adaptación en ambientes con altas temperaturas (Schwacke *et al.*, 1999; Iba, 2002; Nagesh y Devaraj, 2008), debido a la acumulación de estos compuestos, la planta logra tolerar el calor al mantener su balance hídrico, por lo que disminuyen alteraciones celulares (Wahid, 2007 y Wahid y Close, 2007, Rajput *et al.*, 2021).

Entre las reacciones bioquímicas de defensa también se ha reportado que el estrés térmico estimula la producción de metabolitos secundarios (MS) implicados en la protección y defensa vegetal, estos se sintetizan a través de rutas metabólicas especializadas y algunos ejemplos son los terpenos, alcaloides y los fenilpropanoides quienes se encargan de inhibir el crecimiento de patógenos y puede intercalarse con el DNA, evitando síntesis de proteínas y apoptosis (Wink y Schimmer, 1999, Jan *et al.*, 2021); los ácidos cafeico, ferúlico y clorogénico, son antioxidantes que contribuyen al ajuste del estado de óxido-reducción celular (Rice-Evans *et al.*, 1997, Movahedi *et al.*, 2021). En las plantas, la producción y concentración de los MS depende de la especie, genotipo, tipo de órgano o tejido, estado de desarrollo y de las condiciones bióticas y abióticas que enfrenta (Kelsey y Everett, 1995, Walters, 2010, Jakovljević *et al.*, 2022).

Las semillas contienen con temperaturas elevadas al inhibir (termo-inhibición) la germinación temporalmente, pero cuando la temperatura y otros factores climáticos son favorables las semillas tienen la posibilidad de germinar (Franklin, 2009, Maqueira López *et al.*, 2021). Otra reacción que se puede dar en las semillas es la termotolerancia, este mecanismo es causado principalmente por el grado de actividad de la endo- β -mannanase que permite la tolerancia a altas temperaturas sin tener efectos adversos, cabe resaltar que estas respuestas van a diferir entre plantas e incluso en cultivares de la misma especie (Nascimento *et al.* 2000; Carter y Vavrina, 2001, Park *et al.*, 2022).

No obstante, aunque las plantas generan respuestas que les permitan resistir temperaturas elevadas muchas especies cultivadas carecen de estos mecanismos ya que disminuye velocidad de germinación, el porcentaje de germinación, inclusive de manera total, lo cual puede deberse a un posible endurecimiento del endospermo, lo que dificulta la protrusión de la radícula (Kozarewa *et al.*, 2006; Nascimento *et al.*, 2012). Se conoce que altas temperaturas pueden tener un efecto perjudicial en las semillas (**Cuadro1**).

Cuadro 1. Estudios realizados en semillas de diferentes especies expuestas a temperaturas altas y su efecto en la germinación.

Especie	Temperatura (exposición)	Efecto	Referencia
<i>Aster pyrenaeus</i> Desf. ex DC. Asteraceae	15, 20, 25 y 30 °C	20 °C ↓ germinación	García-Torrico <i>et al.</i> , 2011
<i>Arachis hypogaea</i> L. Fabaceae	12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36 y 38 °C	12 y 38 °C ↓ germinación y su velocidad	Rolando Caroca <i>et al.</i> , 2016
<i>Coffea arabica</i> L. Rubiaceae	35 °C	↓ germinación	Da Matta y Ramalho, 2006.
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC. Asteraceae	7, 13, 20, 28 y 35 °C	35 °C, germinación ausente	Vilma Teresa Manfreda <i>et al.</i> , 2020.
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. Fabaceae	20, 30 y 40 °C	40 °C, ↓ velocidad de germinación	Maqueira-López <i>et al.</i> , 2021.
<i>Lactuca sativa</i> L. Asteraceae	15, 20, 25, 30, 35 y 40 °C	> 35 °C, ↓ germinación	Bufalo <i>et al.</i> , 2012; Nascimento <i>et al.</i> , 2012; Catão <i>et al.</i> , 2014.
<i>Zea mayz</i> L. Poaceae	> 35 °C	↓ rendimiento (74%)	Prasad <i>et al.</i> , 2000.
<i>Solanum lycopersicum</i> L. Solanaceae	35 °C	↓ germinación (54%)	Vallejo y Estrada, 2004.

1.3 Alelopatía

La alelopatía se define como la liberación de compuestos químicos por un invasor que tiene efectos perjudiciales sobre los miembros de la comunidad de plantas hospederas (Hierro J y Callaway R. 2003). Entre las interacciones que pueden existir en los organismos están: a) planta-planta, b) planta-microorganismo, c) planta-planta-virus y

por último d) planta-suelo-planta (Macías *et al.* 2001, Mallik e Inderjit 2002, Cheng *et al.*, 2020). Este trabajo se enfoca en la interacción planta-planta.

Los metabolitos con actividad alelopática inhiben la germinación de semillas de plantas receptoras, pero también inhiben el proceso fotosintético al degradar los pigmentos fotosintéticos, reducir la síntesis de ATP y la apertura estomática (Yu *et al.*, 2006, Cabeza Cepeda *et al.*, 2021). En *L. sativa* se ha reportado que la concentración de clorofila disminuye y sus semillas pierden carotenoides cuando plantas de esta especie son expuestas a extractos de *Artemisia annua* L. (Magiero *et al.*, 2009). Así mismo, ácidos fenólicos en bajas concentraciones inhiben la fotosíntesis de *Abutilon theophrasti* y *Lemna minor* (Chou, 1998, Blanco, 2006). Es necesario aclarar que el efecto inhibitorio del agente alelopático sobre la fotosíntesis no necesariamente acontece en los eventos primarios del proceso, sino como resultado de una modificación en los niveles de clorofila o por cierre de los estomas, y la subsecuente reducción en la provisión de CO₂ (Yu *et al.*, 2006, Cabeza Cepeda *et al.*, 2021).

Los aleloquímicos inhiben el crecimiento y desarrollo de las plantas (Cheng y Cheng, 2015, Cabeza Cepeda *et al.*, 2021). Residuos de *Ambrosia artemisiifolia* L., *Abutilon theophrasti* y *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., inhibieron el crecimiento de maíz y la soya (Chou, 1998). Dentro de este mismo contexto, Naila *et al.* (2021) reportaron que extractos de *Taraxacum officinale* L. inhibían la germinación de *Triticum aestivum* L. Existe mucha información sobre el efecto alelopático de Asteraceae por lo que se presentan algunos ejemplos en el **Cuadro 2**.

Cuadro 2. Estudios realizados sobre el efecto alelopático que presentan especies de la familia Asteraceae sobre cultivos.

Especie emisora	Extracto y órgano vegetal	Especie receptora	Efecto	Referencia
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (Pamp.) H. Hara	acuoso de hoja, tallo y raíz.	<i>L. sativa</i> , <i>Eclipta prostrata</i> L.	↓ crecimiento	Kil <i>et al.</i> , 1992
<i>Cirsium japonicum</i> DC.	hexánico y acetato de etilo de hoja, tallo raíz y flor.	<i>Triticum aestivum</i> L., <i>Linum usitatissimum</i> L., <i>Medicago sativa</i> L.	↓ crecimiento, germinación	Chon <i>et al.</i> , 2003
<i>Lactuca sativa</i>	metanólico de hojas.	<i>M. sativa</i>	↓ germinación, crecimiento de raíz, brotes	Chon <i>et al.</i> , 2005
<i>Xanthium strumarium</i> L.	acuoso de toda la planta.	<i>L. sativa</i> , <i>T. aestivum</i> , <i>M. sativa</i>	↓ germinación, brotes, crecimiento de raíces	Inam <i>et al.</i> , 1987; Kanchan y Jayachandra, 1979; Chon <i>et al.</i> , 2004
<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray	acetato de etilo de hojas, tallos y raíces.	<i>T. aestivum</i>	↓ crecimiento del coleóptilo	Miranda <i>et al.</i> , 2015.

1.4 Especie de estudio

Aldama dentata La Llave (Asteraceae) es una planta arvense tropical, comúnmente llamada “flor amarilla” (Rzedowski y Rzedowski, 2008, **Figura 1**), crece de forma ruderal en caminos, pero también se encuentra como arvense en cultivos como frijol, cacahuete y ajonjolí, su tiempo de vida es anual, posee inflorescencias en forma de capítulo y sus flores son hermafroditas rodeadas por 10 a 12 lígulas, su altura va de 1 a 2.5 m. Sus frutos son aquenios, lo cuales son secos, uniseminales e indehiscentes, la semilla mide de 2 a 3.5 mm de largo y posee un vilano como estructura de dispersión (CONABIO, 2011).



Figura 1. Capítulos de *Aldama dentata*

Presentan óvulos anátropos (invertidos) y de placentación basal (Ladd, 1994). Sus semillas son elongadas y desnudas con una cubierta seminal delgada que se extiende desde el funículo hasta el micrópilo (Frangiote-Pallone y de Souza, 2014). El embrión es grande, recto, espatulado, y con dos cotiledones expandidos planos convexos, el endospermo está constituido principalmente de reservas lipídicas y proteicas (Niembro, 1989).

1.4.1 Perfil fitoquímico de *Aldama dentata*

Comparada con otras especies de Asteraceae, es insuficiente la información que existe sobre la fitoquímica de *A. dentata*; no obstante, se conoce que las flores de esta especie tienen terpenos, lactonas sesquiterpénicas, taninos, flavonoides y otros compuestos fenólicos (Marylenlid *et al.*, 2020). Algunos de estos compuestos tienen actividad microbiana, antioxidante y fotoprotectora (Marylenlid *et al.*, 2020). Sobre el género existen otros estudios, Oliveira y colaboradores en el año 2016 realizaron estudios fitoquímicos sobre el contenido de aceites esenciales de distintos órganos de las especies *A. arenaria* (Baker) E.E. Schill. & Panero y *A. robusta* (Gardner) E.E. Schill. & Panero. En *A. arenaria* se identificaron 14 compuestos, entre ellos α -pineno, β -pineno, limoneno; monoterpenos como cypereno, E-cariofileno, palustrol, sesquiterpenos como Pimara-8 (14), 15-dieno y pimara (Cuadro 3). Para *A. robusta* encontraron 10 compuestos, como: sabineno, β -pineno, β -mirceno, acetato de bornilo;

también identificaron monoterpenos, como el α -copaeno, E-cariofileno y espatulenol; algunos sesquiterpenos encontrados fueron oxido de manoilo y manool (**Cuadro 3**).

En el año 2017 Bertolosi y colegas identificaron la composición química de aceites esenciales de las especies *Aldama bakeriana* (S.F. Blake) E.E. Schill. & Panero, *A. discolor* E.E. Schill. & Panero, *A. grandiflora* (Gardner) E.E. Schill. & Panero y *A. squalida* (S. Moore) E.E. Schill. & Panero. Para *A. grandifolia* y *A. squalida* se identificaron monoterpenos y sesquiterpenos en la composición química de sus aceites esenciales, en *A. discolor* y *A. bakeriana* dipterpenos, especialmente β -pineno y germacreno D; en las cuatro especies estudiadas fueron identificados principalmente δ -cadineno y α -cadinol (**Cuadro 3**).

Existe un estudio que evidencia la presencia de terpenos, lactonas sesquiterpénicas, taninos, flavonoides y compuestos fenólicos en flores secas de *A. dentata*, también se reportó que esta especie posee componentes medicinales por su actividad microbiana, antioxidante y fotoprotectora (Marylenlid *et al.*, 2020).

Cuadro 3. Descripción de estudios realizados sobre la actividad de metabolitos secundarios (MS) que contienen plantas del género *Aldama*

Especie	Órgano vegetal	MS	Actividad	Referencia
<i>Aldama arenaria</i>	Raíz, xilopodio y tallos.	E-cariofileno, Bicyclogermacreno, Ledol, limoneno.	contra herbívoros y patógenos	Bakkali <i>et al.</i> , 2008
	Hojas	Carotol, Pimara-8(14),15-dieno, Pimaral, palustrol	antifúngica	Jasicka-Misiaka <i>et al.</i> , 2004
<i>A. robusta</i>	Hojas	Limoneno, acetato de bornilo y espatulenol	antimicrobiana	Canales <i>et al.</i> , 2008
	Hojas, tallo, raíz y xilopodio	Germacreno-D	antimicrobiana	Murari <i>et al.</i> , 2008
<i>A. discolor</i>	Partes aéreas	Dipterpenos, especialmente β -pineno y Germacreno D	antimicrobiana	Bombo <i>et al.</i> , 2017
<i>A. bakeriana</i>				
<i>A. squalida</i>		δ -Cadineno y α -Cadinol.	antifúngica	
<i>A. grandifolia</i>				
<i>A. dentata</i>	Flor	Lactonas sesquiterpénicas, triterpenos, glicósidos cardiotónicos, taninos, compuestos fenólicos, y flavonoides	antioxidante y fotoprotectora	Isla Marylenlid. <i>et al.</i> , 2021

1.4.2 Importancia del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

El jitomate (Solanaceae) es una especie tropical, se considera el segundo cultivo con mayor importancia en el mundo. México ocupa el décimo lugar con una producción de 3,433,567 toneladas, el 1.63% de la producción mundial de jitomate. Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural en febrero 2020, la producción de jitomate fue de un 1,902,276 ton, siendo la superficie total cosechada 23,284 ha; así mismo, el servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) en el estado de Morelos informa que la producción de jitomate que se cosechó en 2018 fue de 2,365 ha, con un rendimiento promedio de 47.63 ton/ha. El jitomate es un elemento importante en la dieta humana, su ingesta tiene un efecto benéfico, ya que reduce problemas cardiovasculares y cáncer, gracias a su alto contenido de antioxidantes como licopeno, ácido ascórbico y compuestos fenólicos (Bugianesi *et al.*, 2004; Borguini y Ferraz, 2009, Kumar *et al.*, 2022).

JUSTIFICACIÓN

Aldama dentata es considerada una maleza ruderal y arvense, que afecta diversos cultivos en México. Se pretende que al investigar el comportamiento germinativo y cambios estructurales de sus semillas en respuesta a altas temperaturas, así como su posible interacción alelopática con cultivos de jitomate, se contribuya en la comprensión de los mecanismos que le permiten su invasión y permanencia en sistemas agrícolas. El conocimiento generado en esta investigación es importante ya que sienta las bases para desarrollar soluciones a los problemas ocasionados por las malezas en los cultivos.

HIPÓTESIS

Altas temperaturas disminuirán la germinación de semillas, velocidad media de germinación, el crecimiento de plántulas y el contenido de clorofila a y b de *A. dentata* así como cambios estructurales en sus semillas.

Extractos orgánicos de *A. dentata* inhibirán la germinación de semillas, velocidad media de germinación, el crecimiento de plántulas y el contenido de clorofila a y b de *Solanum lycopersicum*.

OBJETIVOS

1.5 Objetivo General

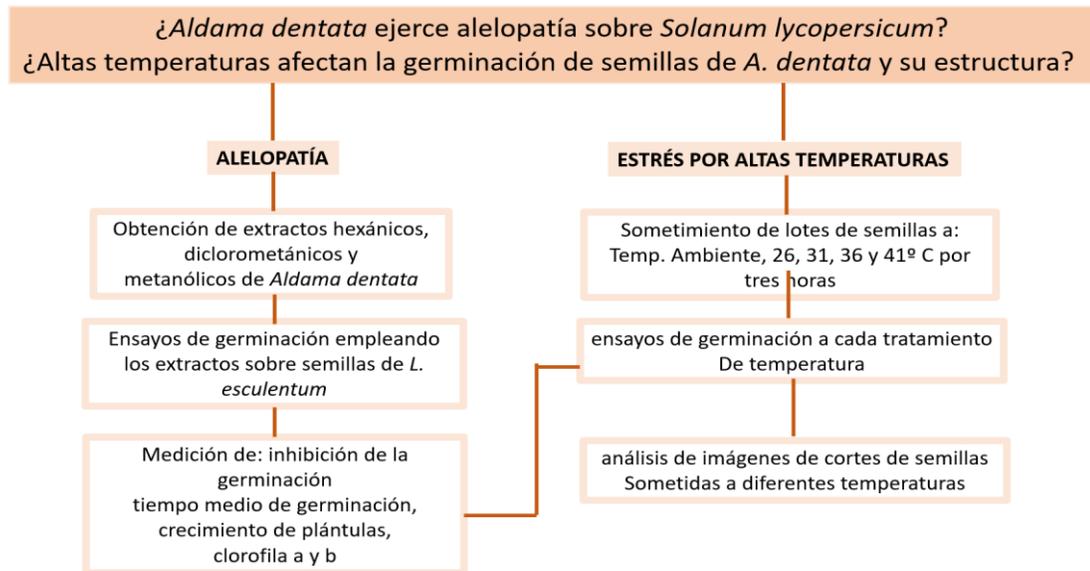
Evaluar el efecto del estrés por calor en la estructura y germinación de semillas de la arvense *Aldama dentata* (Asteraceae), así como determinar si es una especie alelopática en su interacción con *Solanum lycopersicum*.

1.6 Objetivos Específicos

1. Determinar el efecto de estrés por calor sobre la estructura e inhibición de la germinación de semillas de *Aldama dentata*, así como en el crecimiento y el contenido de clorofila a y b de sus plántulas.
2. Determinar si extractos de *Aldama dentata* afectan negativamente la germinación de semillas, el crecimiento de plántulas y el contenido de clorofila a y b de *Solanum lycopersicum*

MATERIALES Y MÉTODOS

1.7 Estrategia experimental



1.8 Descripción del área de colecta

El sitio de colecta de planta y semillas se localiza en el km 14 de la antigua carretera federal hacia Tepoztlán, Morelos (18°50'30" y 19°05'40" N; 98°51'50" y 99°20'00" W) (CONANP, 2008; INEGI, 2015). La precipitación media anual es de 1098 mm y la temperatura media anual es de 20.9 °C (<https://www.gob.mx/conagua>). La vegetación es de bosque tropical caducifolio y se caracteriza por un dosel abierto, entre las especies dominante se encuentra *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl., *B. glabrifolia* (Kunth) Engl., *B. copallifera* (DC.) Bullock, *B. bipinnata* (DC.) Engl., *B. bicolor* (Willd. ex Schltl.) Engl., *Bunchosia canescens* (Aiton) DC., *Conzattia multiflora* (B.L. Rob.) Standl., *Heliocarpus* sp. (L.), *Ipomoea murucoides* Roem. & Schult., *Sapium macrocarpum* Müll. Arg. y *Thevetia thevetioides* (Kunth) K. Schum. (CONANP, 2011).

1.9 Colecta de material vegetal

A finales del mes de noviembre y principios de diciembre de 2020, se colectaron 60 plantas de *A. dentata*, cada planta se sujetó del tallo y se colgaron para promover el proceso de secado, el material se mantuvo a temperatura ambiente durante cinco días en un lugar bajo cubierta.

Durante la segunda semana de enero de 2021 se recolectaron capítulos de *Aldama dentata* de las cuales se desprendían con facilidad los aquenios, posteriormente se llevó a cabo la limpieza de las cabezuelas retirando residuos vegetales e impurezas para la obtención de semillas (**Figura 2**).



Figura 2. Aquenios de *Aldama dentata*. En la primera **Figura** se observa que aún están unidas a las reminiscencias de la flor, mientras que en la segunda se aprecian las semillas totalmente limpias.

Un ejemplar de *Aldama dentata* se llevó al herbario (HUMO) del Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y fue identificado por el curador del herbario, M. en C. Gabriel Flores Franco.

1.10 Estrés por altas temperaturas

Para conocer el efecto del incremento térmico en la estructura y germinación de las semillas de *A. dentata*, cinco grupos de semillas se sometieron a diferentes temperaturas (26° C, 31° C, 36° C y 41°C) más un control (21.6° C). Cada lote se colocó en un Horno de convección forzada BINDER FD línea Avantgarde® por tres horas. Posteriormente se realizó el experimento de germinación; donde las semillas fueron desinfectadas al 1 % con hipoclorito de sodio (cloralex®) durante 30 segundos, una vez pasando el tiempo en agitación, se enjuagaron las semillas con agua destilada

por tres veces, para eliminar restos del hipoclorito de sodio, una vez desinfectadas. En cada una de las cajas Petri (90 mm de diámetro x 15 mm de altura) se colocó papel filtro de poro mediano y se humedecieron con 5 mL de agua destilada, se colocaron 20 semillas dentro de cada una de las 10 cajas Petri por tratamiento de temperatura y finalmente fueron selladas con Parafilm (embalaje Pechiney-Plastic, modelo PM-996, EE. UU.). Las cajas Petri fueron colocadas dentro del cuarto del cultivo del Centro de investigación en biotecnología (CEIB) a una temperatura constante de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ y un fotoperíodo de 8 horas de oscuridad y 16 horas luz.

Así mismo, se realizaron cortes de semillas de cada tratamiento de temperatura y se inspeccionaron cualitativamente en un microscopio confocal de barrido laser y ambiental en el Centro de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional.

1.11 Extracción con disolventes orgánicos

El material seco de *Aldama dentata* se molió en un aparato extractor de nutrientes (nutribullet®), lo anterior cuidando de que no aumentara la temperatura del extractor. Previo a la maceración del material, se pesaron frascos de vidrio y se agregaron a ellos el molido vegetal. Los frascos se rotularon y a cada frasco se le añadieron en forma sucesiva disolventes de polaridad creciente. El primer disolvente fue hexano; con el cual se realizaron tres maceraciones consecutivas, cada una por 72 h, en ese momento se filtraba el material vegetal y se concentraba el sobrenadante en un rotavapor Büchi R-100. Los extractos se pasaron a frascos de vidrio previamente pesados y rotulados, con la finalidad de calcular el rendimiento (**Cuadro 4**). El mismo procedimiento se realizó para las extracciones con diclorometano y metanol. Los extractos se almacenaron en un refrigerador comercial a 5°C hasta su uso para los experimentos de germinación.

Cuadro 4. Rendimiento en peso seco de los extractos obtenidos de *A. dentata* utilizando disolventes de polaridad creciente, a partir del total del material vegetal seco (369.31g). La fórmula empleada para el cálculo del rendimiento (%) $\frac{\text{peso del extracto} \times 100}{\text{peso total del material seco}}$

Disolvente utilizado	Peso del extracto (g)	Rendimiento en peso seco (%)
Hexano	3.6	0.97
Diclorometano	7.8	2.11
Metanol	10.17	2.75

1.12 Experimentos de germinación con jitomate (Alelopatía)

Se adquirieron semillas comerciales de jitomate (marca hortiflor®). Previo a los experimentos de germinación se realizó un pre-experimento para la elección del mejor protocolo de desinfección de las semillas y para determinar el mejor sustrato de germinación. Para realizar el método de desinfección se utilizaron tres tubos eppendorf para cada tratamiento 1%, 3% y 5% de hipoclorito de sodio (Clorox® el cual ya viene diluido al 6%) donde se colocaron 25 semillas de jitomate en cada uno de ellos, y se agitaron por 5 minutos consecutivos, se retiró la solución y enjuagó por tres veces usando agua destilada para eliminar restos de cloro, posteriormente se pusieron a secar las semillas en papel filtro seco.

Para determinar el mejor medio de sustrato de germinación, se realizó diseño experimental señalado en el **Cuadro 5**. Donde las semillas se desinfectaron con tres diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio (Clorox®) y se colocaron en tres diferentes sustratos, agar bacteriológico, MS al 20% y papel filtro humedecido con 4 mL de agua destilada. Se emplearon 3 cajas Petri por cada tratamiento y en cada uno se colocaron 10 semillas de *S. lycopersicum* (**Cuadro 5**). Las cajas Petri fueron selladas con Parafilm para evitar contaminación externa y desecación; el material fue llevado a una cámara de germinación (Lumistell) a 25° C, 12h luz-12h oscuridad. La germinación fue registrada cada dos días, considerándose una semilla germinada con la aparición de la radícula.

Cuadro 5. Diseño experimental con tres medios de cultivo utilizando semillas desinfectadas con hipoclorito de sodio (Clorox® 6%) al 1%, 3% y 5%.

Sustrato	NaCl 1%	NaCl 3%	NaCl 5%
Agar bacteriológico	3 cajas con 10 semillas	3 cajas con 10 semillas	3 cajas con 10 semillas
Murashige y Skoog (20%)	3 cajas con 10 semillas	3 cajas con 10 semillas	3 cajas con 10 semillas
Papel filtro	3 cajas con 10 semillas	3 cajas con 10 semillas	3 cajas con 10 semillas

Los resultados derivados de un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores ($F = 3.7$, g.l. = 2, 18, $P = 0.045$) indicaron que no todos los métodos de desinfección son iguales en cuanto a la germinación que logran las semillas. El mejor método de desinfección (Tukey, $P < 0.05$) fue del cloro al 3 % (media \pm 1DE, 8.33 ± 0.5 semillas germinadas), lo que separa este método de las semillas desinfectadas con cloro al 5% (7.88 ± 0.6 semillas germinadas) y de aquellas desinfectadas con cloro al 1% (7.44 ± 1.01 semillas germinadas). Por lo tanto y para hacer más ágil el experimento se decidió a usar papel filtro para los experimentos definitivos.

Para llevar a cabo el experimento definitivo de alelopatía, se establecieron 10 cajas Petri por tratamiento colocando 20 semillas de jitomate en cada caja. Las semillas fueron desinfectadas con cloro al 3% conforme al protocolo mencionado anteriormente. De cada extracto (hexano, diclorometano y metanol) se hicieron diluciones a partir de una de 1000ppm y empleando 1% de tween-80 para lograr la solubilización de los extractos en el agua destilada. Las diluciones fueron 1000 ppm, 100 ppm, 10 ppm, 1 ppm, 0.1 ppm, 0.01 ppm y un control de sólo agua destilada (**Cuadro 6**).

Una vez obtenidas las soluciones, en cada caja Petri (90 mm de diámetro \times 15 mm de altura) se colocó papel filtro de poro mediano + 20 semillas desinfectadas + 4 mL de extracto. Las cajas Petri con las semillas fueron tapadas y selladas con Parafilm (Pechiney-Plastic, modelo PM-996, EE. UU.). Posteriormente se almacenaron en el cuarto de cultivo del CEIB a 16 h luz y 8 h oscuridad a 25°C.

Cuadro 6. Diseño experimental de germinación de semillas de *S. lycopersicum* utilizando los extractos de hexano, diclorometano y metanol con concentraciones de 0, 0.01, 0.1, 1, 10, 100 y 1000 mg/mL. En cada uno de los 21 tratamientos se colocaron 10 cajas Petri con 20 semillas cada una.

Extracto	Concentración (ppm)						
	0	0.01	0.1	1	10	100	1000
Hexano							
Diclorometano							
Metanol							

Como variables de respuesta se estimó el porcentaje de inhibición de la germinación de semillas, tiempo medio de germinación, longitud total de la plántula y el contenido de clorofila a y b. Para medir el porcentaje de inhibición en la germinación de semillas, se contaron las semillas germinadas durante 18 días, este mismo dato sirvió para obtener el tiempo medio de germinación. En el caso de las plántulas se midió su longitud total con un vernier digital de medida lineal con alta precisión (Mitutoyo). La clorofila se midió con el medidor de clorofila cloroFILOG® (Falker).

1.13 Análisis estadístico

Para determinar si la germinación de las semillas varió por el efecto de los tratamientos de los extractos de *Aldama dentata* se llevó a cabo un modelo lineal general (GLM). El factor fue el extracto (hexano, diclorometano y metanol), la covariable fue el logaritmo natural + 0.001 de la concentración (ppm) y la variable de respuesta fue el porcentaje de inhibición en la germinación de semillas de jitomate.

El porcentaje de inhibición se calculó con base en:

$$\frac{\bar{x}_0 - x_i}{n} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Donde

\bar{x}_0 : número promedio de semillas germinadas sin tratamiento (control).

x_i : número de semillas germinadas sometidas a tratamiento.

n: número de semillas total (20) por caja Petri.

El tiempo medio de germinación de las semillas se calculó de acuerdo con la fórmula de Ranal y García 2006.

$$t = \frac{\sum i = 1 kniti}{\sum i = 1 kn} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Donde

t_i : es el día en el que se tomó el dato de germinación (desde el día 1 al 18).

n_i : son el número de semillas que germinaron en el día i .

k : es el número total de días en los que se registró la germinación (18 días).

Esta fórmula determina la rapidez de germinación de las semillas, si se registra un mayor número de semillas germinadas en los primeros días, el tiempo medio de germinación será bajo, lo que indicaría una alta velocidad de germinación.

La ecuación para determinar la tasa relativa de crecimiento fue:

$$TRC = \frac{(\bar{x}_0 - x_i)}{\bar{x}_0} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

Donde:

\bar{x}_0 : es el número promedio de la longitud total de las plántulas a temperatura ambiente.

x_i : es la longitud total por cada plántula

Respecto al efecto de la temperatura en la germinación de semillas de *A. dentata*, se llevó a cabo con un análisis de varianza de un factor, donde el factor fue la temperatura y las variables dependientes fueron el porcentaje de germinación; el tiempo medio de germinación, tasa relativa de crecimiento y clorofila a y b. Diferencias significativas se detectaron por medio de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($P < 0.05$).

RESULTADOS

1.14 Efecto causado por altas temperaturas en semillas de *Aldama dentata*

1.14.1 Estructura

Las imágenes obtenidas por el microscopio electrónico de barrido ambiental (EVO 10 ZEISS®) muestran el cuerpo del aquenio de *A. dentata* arqueado y glabro, las crestas que se observan son rugosas y se tornan de diferente tamaño, la profundidad no es la misma, lo que podría deberse a un endurecimiento en la testa al incrementar la temperatura; tal microscopio puede generar información acerca de los niveles en la nutrición de las semillas (porcentaje de potasio, oxígeno, calcio, fósforo, cloro, magnesio, silicio y carbono (**Cuadro 7, Figuras 3, 4 y 5**) donde no hay diferencias nutrimentales entre las semillas expuestas y el control.

Cuadro 7. Análisis nutrimental de las semillas de *A. dentata* que fueron sometidas a cuatro temperaturas. Los datos están expresados en porcentaje.

	Ambiente (21.6° C)	26° C	31° C	36° C	41° C
Potasio	2.53	4.81	5.28	5.22	2.77
Oxígeno	48.77	49.35	49.29	49.19	49.54
Calcio	0.85	0.73	0	1.19	1.65
Fósforo	0.25	0.13	0.14	0	0.1
Cloro	0.23	0.14	0.1	0.2	0.04
Magnesio	0.23	0.27	0.1	0.09	0.25
Carbono	47.11	44.5	45.09	44.07	45.65

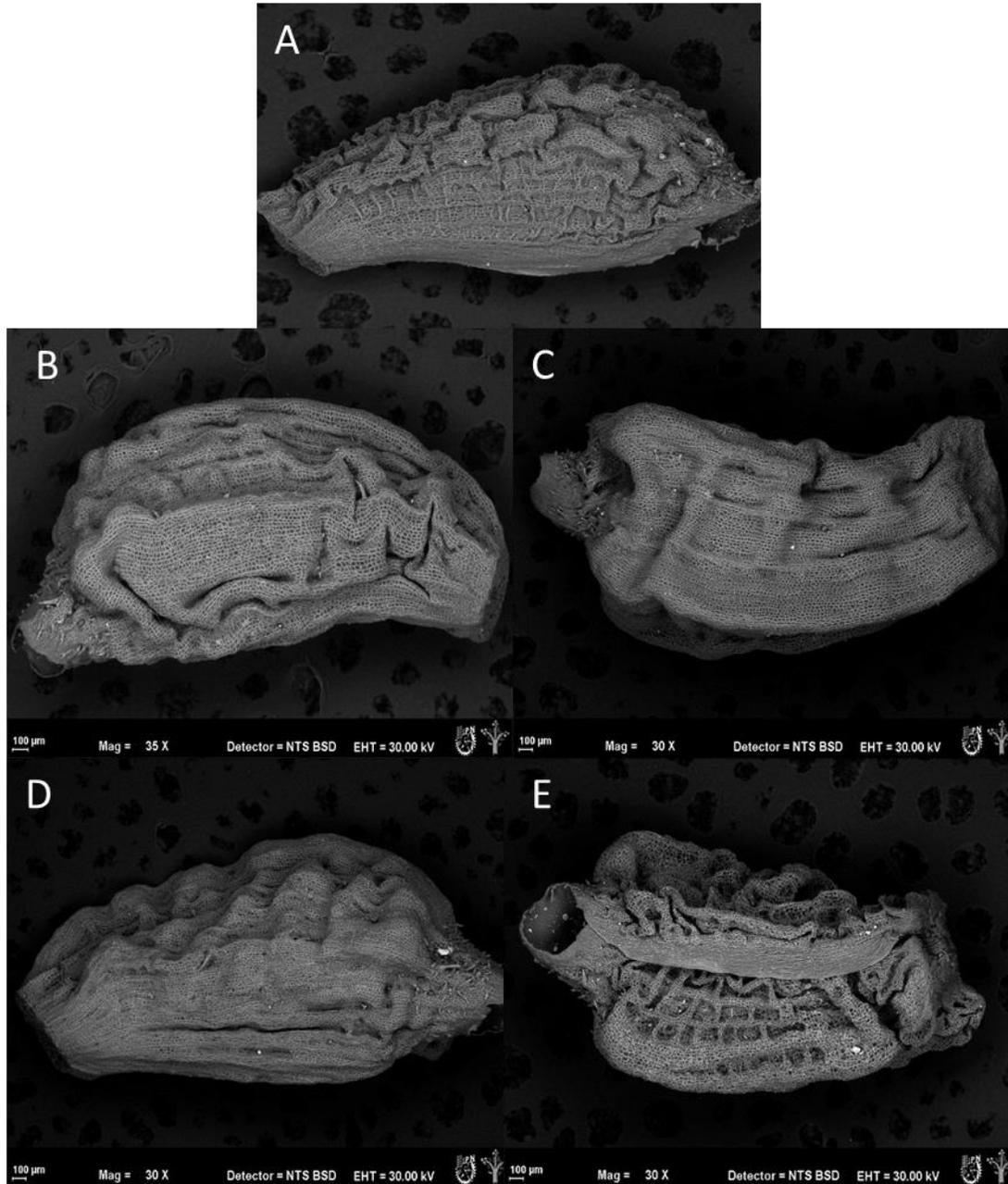


Figura 3. Diferencias en la cubierta seminal de las semillas de *Aldama dentata*. A: control, B: semillas expuestas a 26 °C, C: semillas expuestas a 31 °C, D: semillas expuestas a 36 °C y E: semillas expuestas a 41 °C. A una magnificación de 30x, detector NTS BSD, con una barra de escala de 100µm.

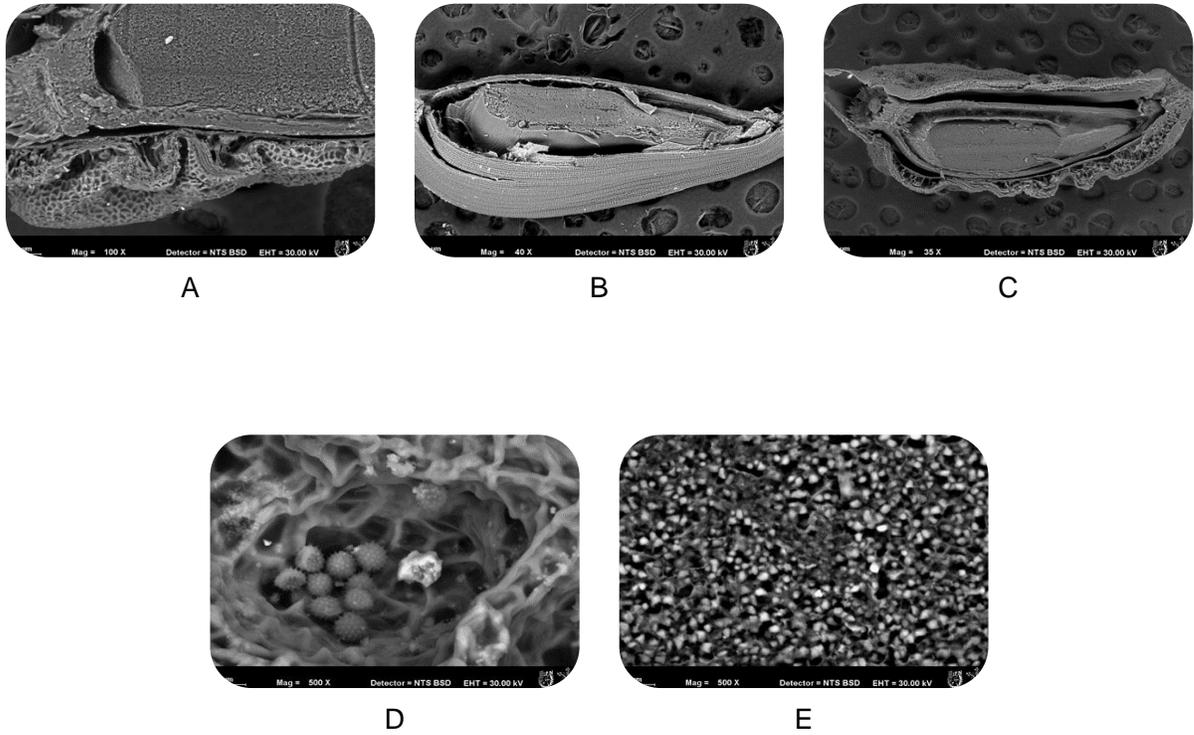


Figura 4. Micrografías de las semillas de *Aldama dentata* tomadas en el microscopio electrónico de barrido ambiental. A: corte longitudinal de una semilla sin choque térmico, se observa una parte de la testa, cubierta seminal y parte del endospermo; B: cubierta seminal y endospermo de semilla sometida a 26°C; C: Corte longitudinal de semilla sometida a 31°C se observa la testa, cubierta seminal y endospermo; D: Polen incrustado en semilla control; E: gránulos de la semilla observados a 400x.

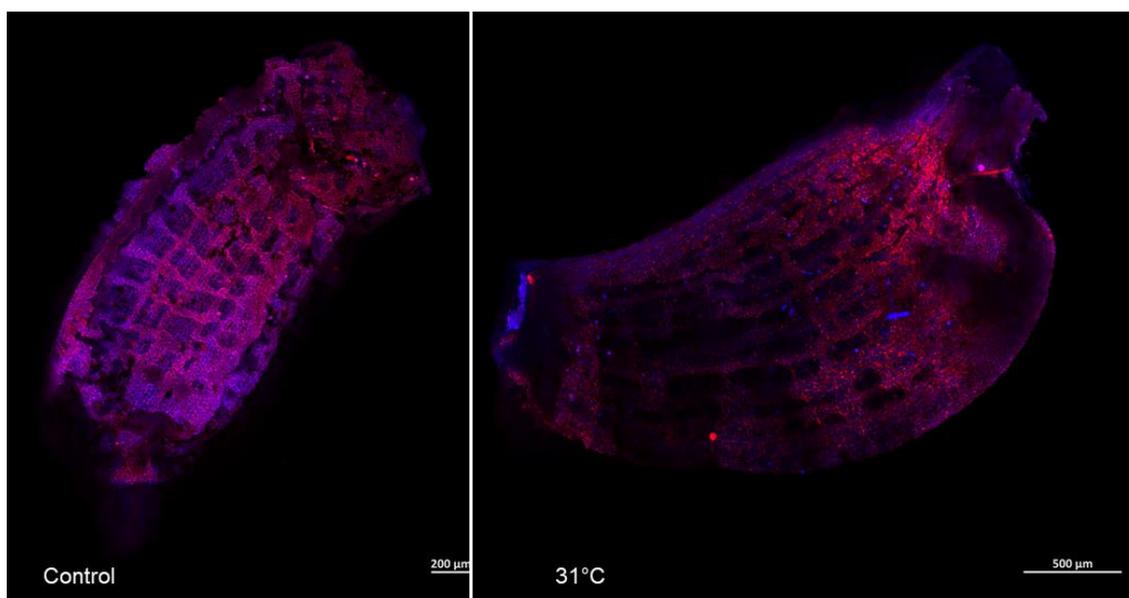


Figura 5. Micrografías de las semillas de *A. dentata* en microscopio confocal de barrido laser.

1.14.2 Germinación de *Aldama dentata*

Hubo diferencias significativas entre las temperaturas a las que fueron sometidas las semillas de *A. dentata* (temperatura ambiente (21.6° C) 50 ± 25.75 ; 26°C 50 ± 26.25 ; 31°C 50 ± 14.68 ; 36°C 50 ± 12.97 ; 41°C 50 ± 15.30) (**Cuadro 8**) siendo la temperatura ambiente y a 26°C las temperaturas óptimas para la germinación en las semillas, y al incrementar la temperatura, el porcentaje de germinación disminuyó (**Figura 6**), lo que puede indicar que las semillas de *A. dentata* tienen poca tolerancia al incremento térmico.

Cuadro 8. Resultados obtenidos en la germinación de *A. dentata* bajo estrés térmico. Se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad

Fuente de variación	g.l.	SC	CM	F	P
Intercepto	1	178204.50	178204.50	1406.26	0.00
Temperatura	4	8318.00	2079.50	16.41	0.00
Error	45	5702.50	126.72		

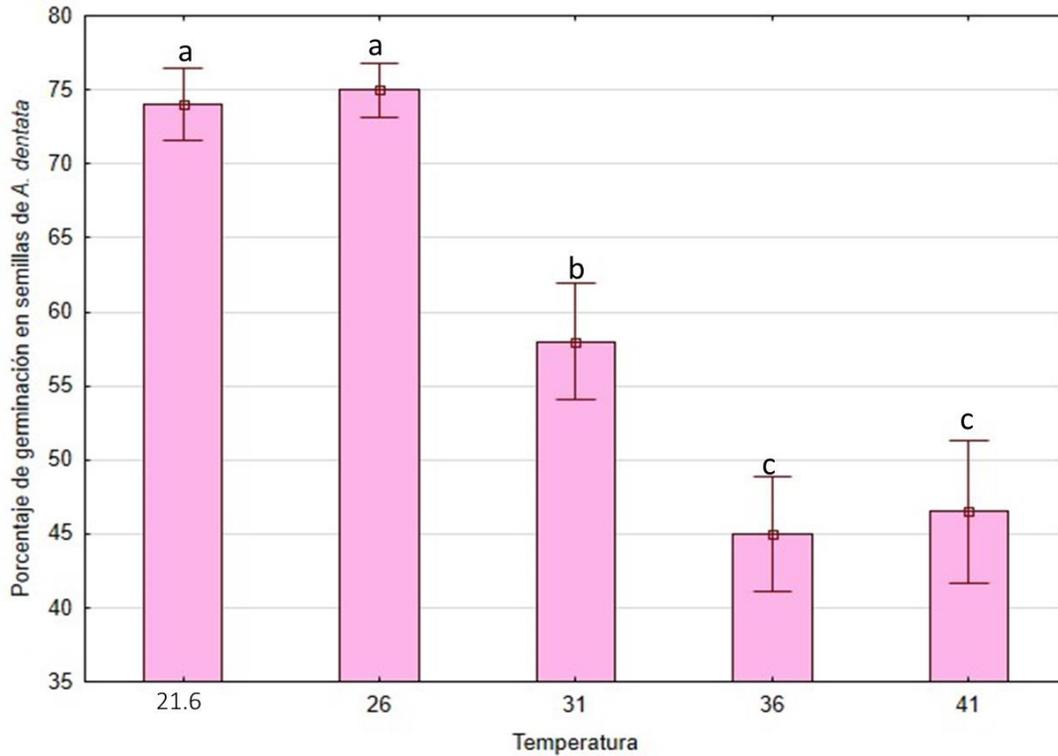


Figura 6. Porcentaje de germinación en semillas de *A. dentata* bajo estrés térmico.

1.14.3 Tiempo medio de germinación de semillas de *A. dentata*.

Existen diferencias estadísticamente significativas en la velocidad de germinación de las semillas de *A. dentata* (temperatura ambiente (21.6° C) 7.66 ± 0.16 ; 26°C: 6.07 ± 0.18 ; 31°C: 8.10 ± 0.36 ; 36°C: 8.38 ± 0.45 ; 41°C: 10.19 ± 0.41) (**Cuadro 9**), cuando el estrés térmico es más alto, la raíz emerge lentamente y cuando se encuentran a temperatura ambiente y a 26°C la germinación ocurre con mayor rapidez (**Figura 7**).

Cuadro 9. Velocidad de germinación en semillas de *A. dentata* bajo estrés térmico. Se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad

Fuente de variación	g.l.	SC	CM	F	P
Intercepto	1	3266.68	3266.68	2833.55	0.00
Temperatura	4	87.69	21.92	19.02	0.00
Error	45	51.88	1.15		

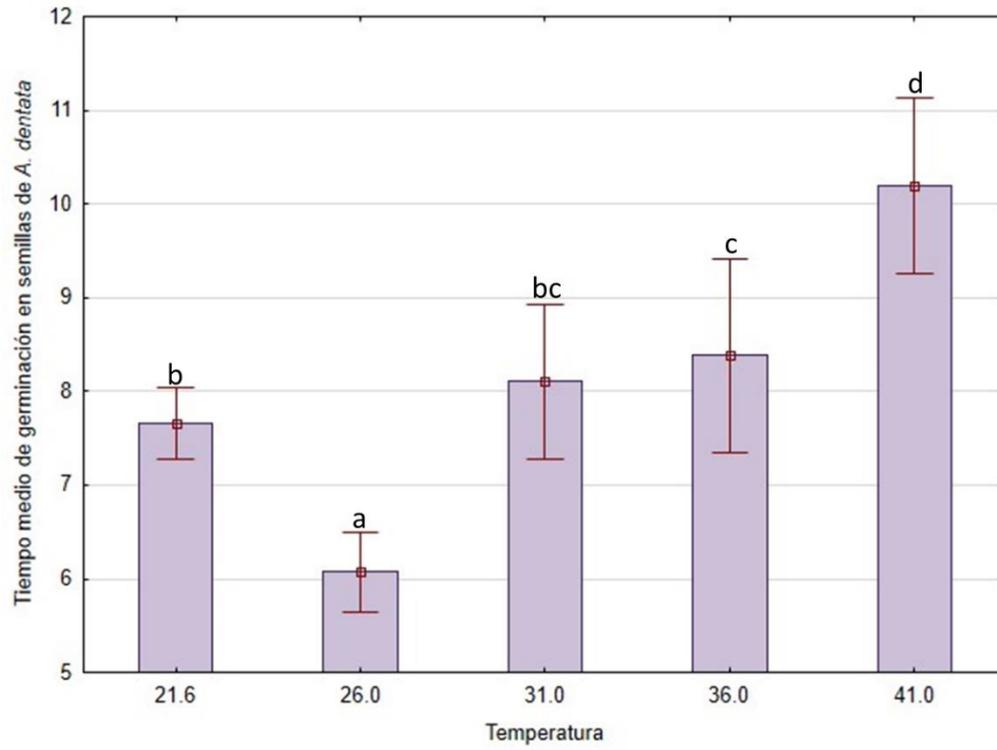


Figura 7. El tiempo medio de germinación estima la velocidad de germinación de semillas de *A. dentata*, a temperatura ambiente (21.6° C), 26°, 31°, 36° y 41°C.

1.14.4 Tasa relativa de crecimiento en plántulas de *A. dentata*

Hubo diferencias estadísticamente significativas entre las temperaturas a las que se sometieron las semillas de *A. dentata* (26°C: -0.37 ± 0.04 cm; 31°C: -0.46 ± 0.06 ; 36°C: -0.78 ± 0.07 ; 41°C: -0.44 ± 0.08) (**Cuadro 10**), el crecimiento de la plántula es similar entre 26°C, 31°C y 41°C en comparación a las semillas que no recibieron un choque térmico, no obstante, a los 36°C se ve una gran diferencia (**Figura 8**) siendo menor la tasa relativa de crecimiento.

Cuadro 10. Tasa relativa de crecimiento en plántulas de *A. dentata*. se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad

Fuente de variación	g.l.	SC	CM	F	P
Intercepto	1	113.30	113.30	254.90	0.00
Temperatura	3	10.18	3.39	7.63	0.00
Error	440	195.58	0.44		

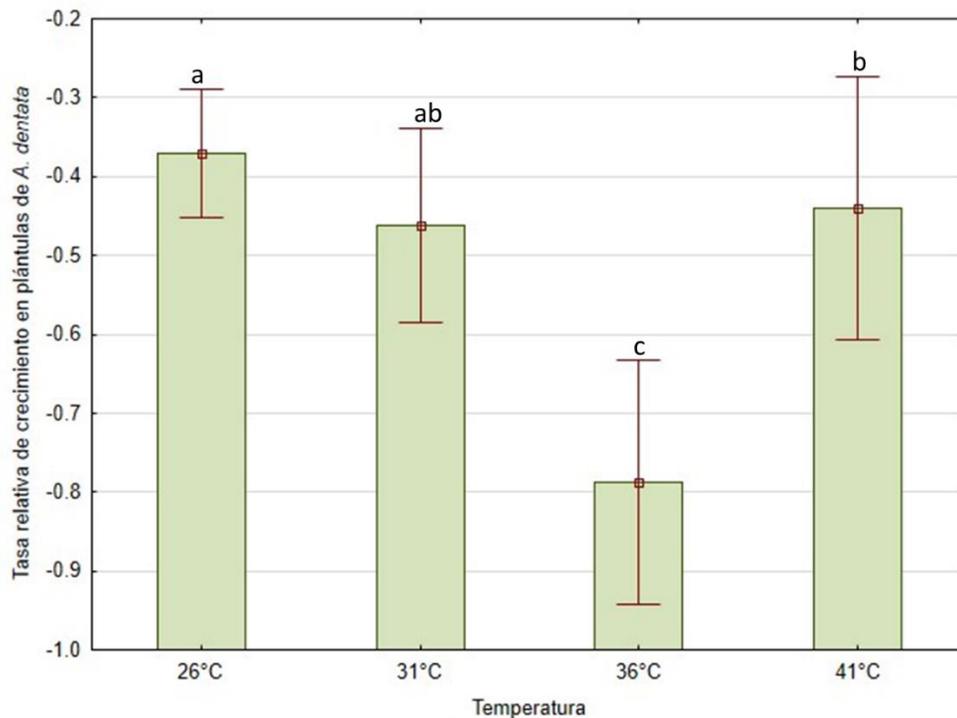


Figura 8. Tasa relativa de crecimiento en comparación a las plántulas que crecieron a temperatura ambiente (21.6° C).

1.14.5 Contenido de clorofila a y b de las plántulas de *A. dentata*.

Existen diferencias significativas entre el contenido de clorofila a en las plántulas de *A. dentata* (temperatura ambiente (21.6° C) 29.61 ± 0.49 ; 26°C 21.60 ± 0.59 ; 31°C 24.78 ± 0.50 ; 36°C 18.65 ± 0.61 ; 41°C 20.37 ± 0.41) (**Cuadro 11**) y el contenido de clorofila b (temperatura ambiente 12.92 ± 0.28 ; 26°C 13.20 ± 0.28 ; 31°C 12.27 ± 0.32 ; 36°C 10.78 ± 0.31 ; 41°C 11.11 ± 0.28) (**Cuadro 12**). El comportamiento entre ambas clorofilas es similar, disminuyendo el contenido de ambas clorofilas a los 36°C, así mismo se puede observar que el mayor contenido de clorofila se puede obtener de plántulas en las que la semilla no recibió estrés por calor (**Figura 9**).

Cuadro 11. Contenido de clorofila a en plántulas de *A. dentata*. se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad

Fuente de variación	g.l.	SC	CM	F	P
Intercepto	1	529341.84	529341.84	9511.89	0.00
Temperatura	4	14941.05	3735.26	67.12	0.00
Error	995	55372.27	55.65		

Cuadro 12. Contenido de clorofila b en plántulas de *A. dentata*. Se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad

Fuente de variación	g.l.	SC	CM	F	P
Intercepto	1.00	145469.41	145469.41	8132.35	0.00
Temperatura	4.00	925.66	231.42	12.94	0.00
Error	995.00	17798.31	17.89		

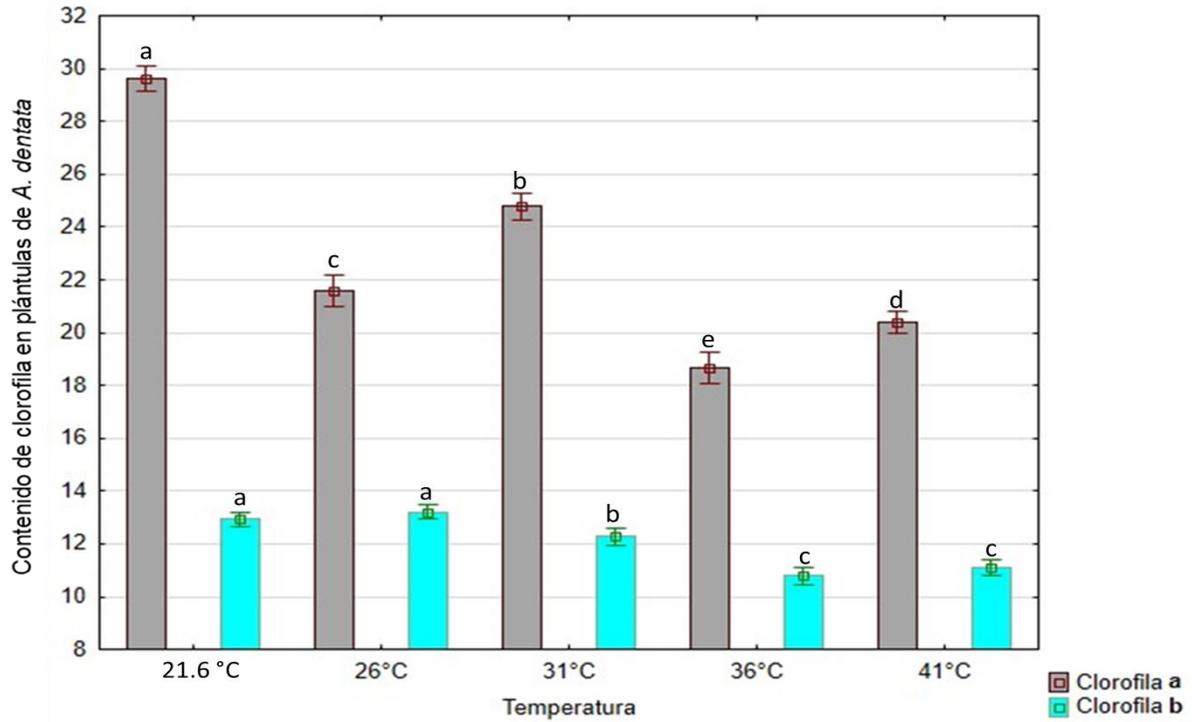


Figura 9. Contenido de clorofila a y b de plántulas de *A. dentata*, bajo estrés térmico.

1.15 Alelopatía

1.15.1 Germinación

Estadísticamente no hubo diferencias significativas entre los tratamientos utilizados (hexano, diclorometano y metanol) sobre la germinación de las semillas de *S. lycopersicum* (**Cuadro 13**). No obstante, se puede apreciar que conforme la concentración de los extractos aumentaba ocurría una disminución en la germinación de semillas (**Figura 10**).

Cuadro 13. Análisis de varianza que muestra el efecto en la germinación de semillas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) bajo diferentes concentraciones de extractos con polaridad creciente (hexano, diclorometano y metanol) de la planta de *Aldama dentata* en condiciones de laboratorio, se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad.

Fuente de variación	g.l.	SC	CMo	F	P
Intercepto	1	74961.68	74961.68	1502.43	0.00
Extracto	2	78.53	78.53	1.57	0.21
Concentración Ln	1	25894.41	25894.41	518.99	0.00
Extracto x Ln	2	2125.38	2125.38	42.60	0.00
Error	174	49.89	49.89		

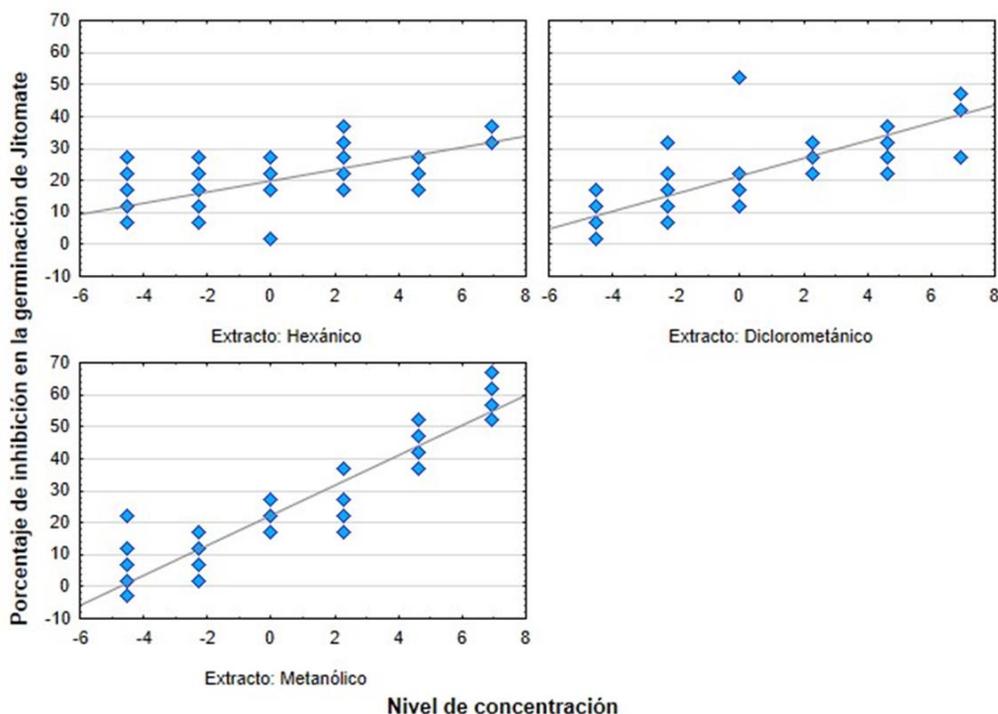


Figura 10. Porcentaje de inhibición en la germinación de semillas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) tratadas con extractos obtenidos por disolventes de polaridad creciente hexano, diclorometano y metanol en diferentes concentraciones 0, 0.01, 0.1, 1, 10, 100 y 1000 ppm de plantas de *Aldama dentata* (Asteraceae).

1.15.2 Tiempo medio de germinación en semillas de jitomate.

Los resultados obtenidos fueron parecidos a la inhibición en la germinación, ya que no hubo diferencias significativas entre extractos, no obstante, se puede observar que, al incrementar la concentración provoca que la protrusión de la raíz tarde en emerger de la semilla (**Figura 11**), estadísticamente las concentraciones presentan diferencias significativas ($F = 317.94$, g.l = 1, $P = 0.00$) al igual que la interacción entre los extractos y las concentraciones, como se observan en el siguiente **Cuadro 14**.

Cuadro 14. Efecto de la velocidad de germinación en semillas de jitomate con respecto a los extractos y sus concentraciones. Se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad.

Fuente de variación	g.l.	SC	CM	F	P
Intercepto	1.00	7524.03	7524.03	9186.77	0.00
Concentración Ln	1.00	260.40	260.40	317.94	0.00
Extracto Ln	2.00	3.79	1.89	2.31	0.10
Error	206.00	168.72	0.82		

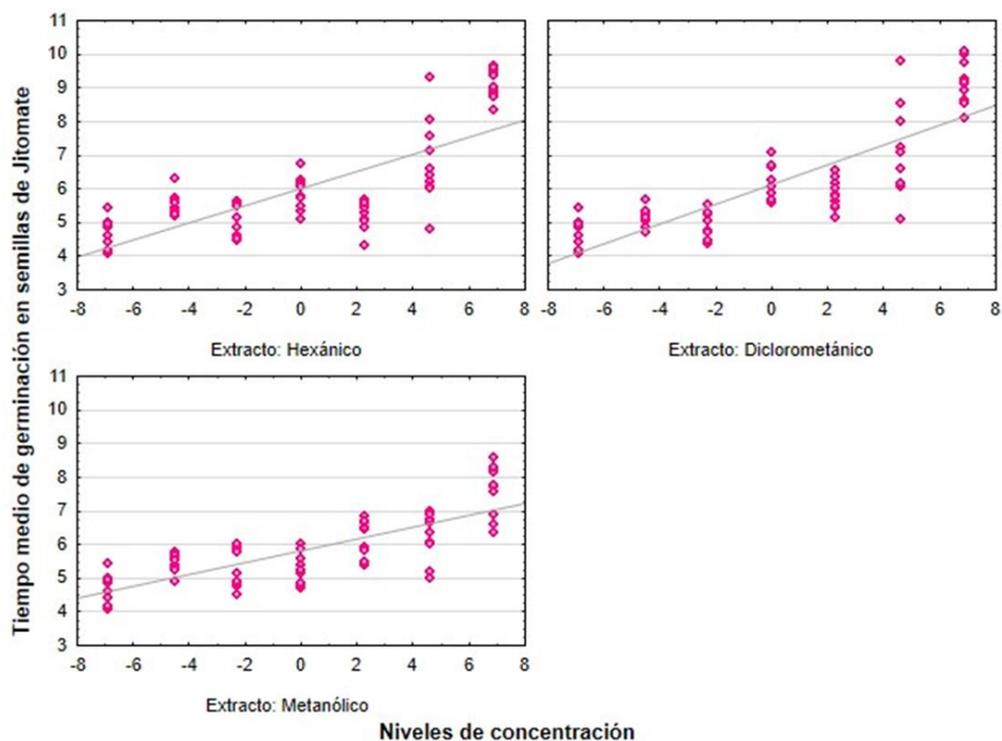


Figura 11. Gráficas que presentan la relación que hay entre la velocidad de germinación y los extractos evaluados.

1.15.3 Tasa de crecimiento relativo

Se encontraron efectos significativos de la concentración ($F = 538.38$, $P < 0.001$) y del extracto ($F = 138.86$, $P < 0.001$) (Figura 12) lo cual se puede observar en los resultados estadísticos obtenidos; las concentraciones en la longitud total de las plántulas de jitomate, fueron estadísticamente significativos (Cuadro 15); lo cual puede ser por la presencia de metabolitos secundarios que afectan el buen desarrollo de las plántulas, incluso tal efecto puede revelarlo la interacción entre ambos factores, el cual también muestra diferencias significativas.

Cuadro 15. Resultados obtenidos con relación a los extractos utilizados y la longitud total de las plántulas de jitomate. Se muestran los grados de libertad (g.l.), Suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM), F calculada y el valor de probabilidad.

Fuente de variación	g.l.	SC	CM	F	P
Intercepto	1.00	105.33	105.33	1968.19	0.00
Concentración Ln	1.00	28.82	28.82	538.48	0.00
Extracto	2.00	14.86	7.43	138.86	0.00
Error	2629.00	140.69	0.05		

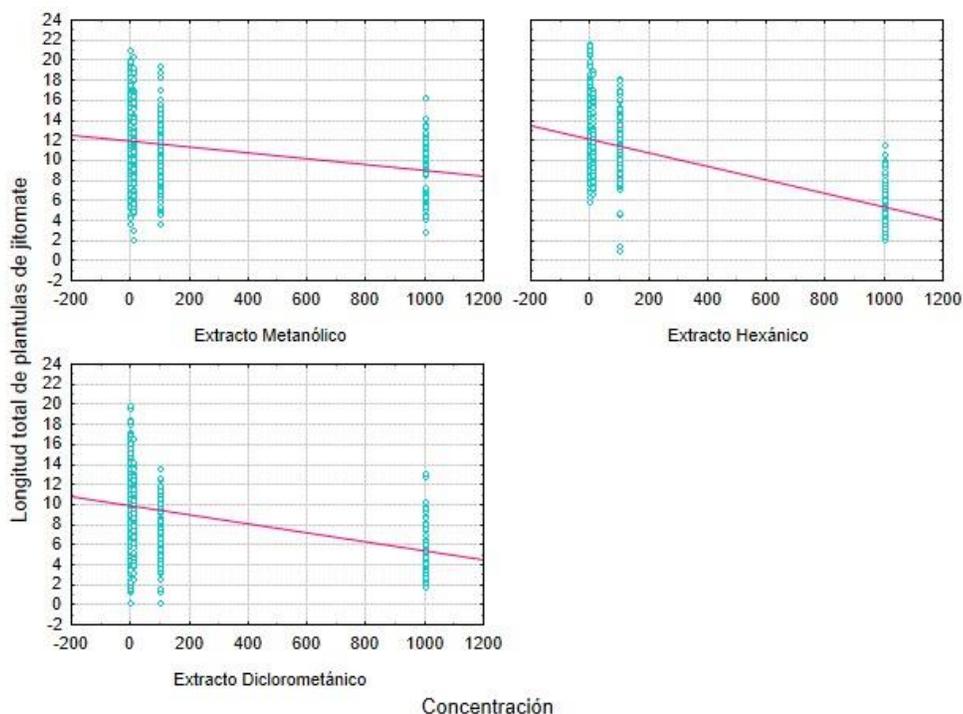


Figura 12. Efecto de los tratamientos utilizados (hexano, diclorometano y metanol) sobre el crecimiento de las plantas de jitomate.

1.15.4 Contenido de Clorofila a y b

Los niveles de clorofila a y b muestran diferencias significativas en respuesta a los extractos utilizados (clorofila a: $F = 79.72$, $P < 0.05$, clorofila b: 85.04 , $P > 0.05$), siendo el metanólico el que presentó niveles de clorofila inferiores a los extractos hexánicos y diclorometánicos (**Figura 13**).

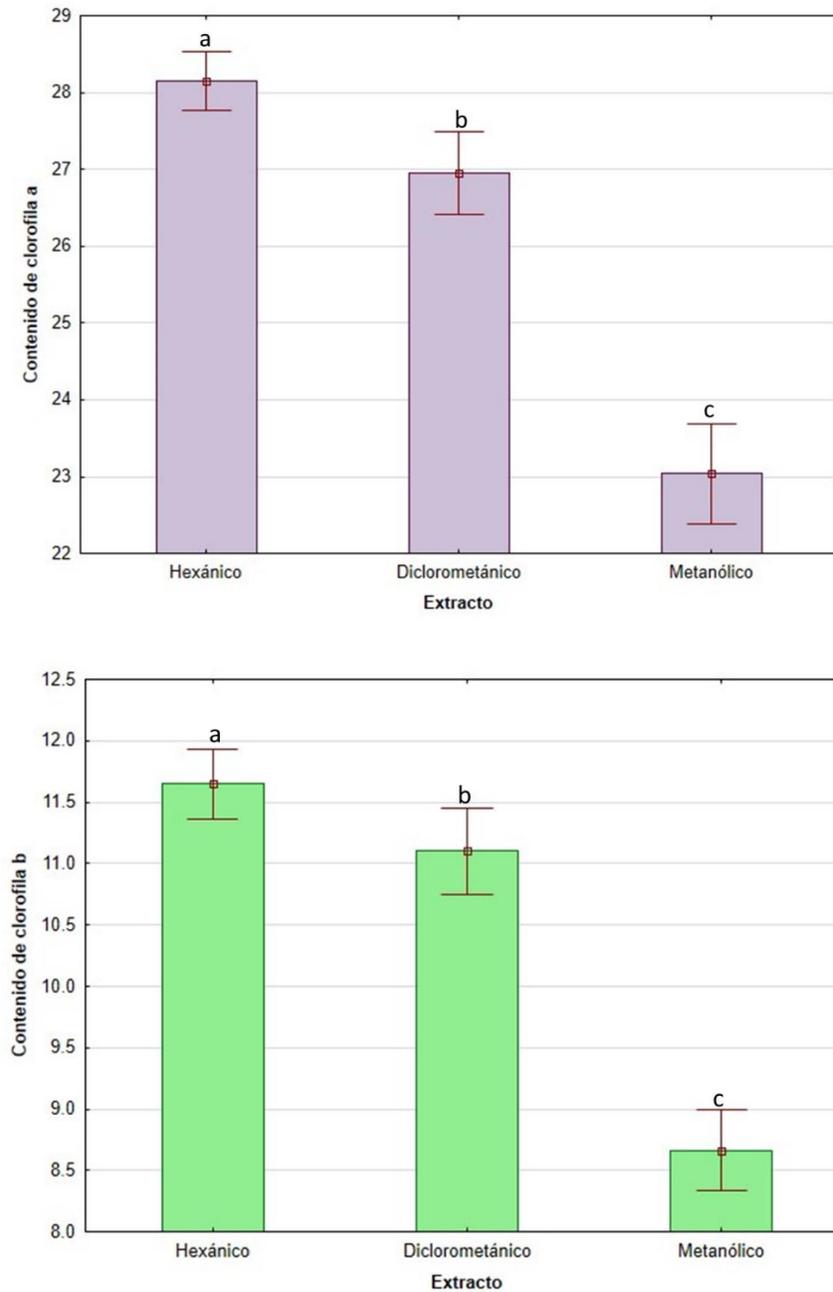


Figura 13. Contenido de clorofila en plántulas de *S. lycopersicum*. En la primera gráfica se observa el contenido de clorofila a y en la segunda el contenido de clorofila b.

DISCUSIÓN

Las malezas comparten características que las hace competidoras exitosas ya que toleran altas temperaturas y/o llegan a emitir compuestos químicos que interfieren químicamente con el crecimiento de las plantas con las que cohabitan (Little *et al.* 2021). El incremento de la temperatura estaría provocando ligeras modificaciones en la morfo-anatomía de las semillas de *A. dentata*, al menos es lo que se observa visualmente, como son la prominencia de las crestas en la testa y el tamaño; el cual, aparentemente, disminuye conforme aumenta la temperatura. Debido a que este trabajo descansa sobre datos visuales es necesario formular hipótesis basadas en morfometría geométrica para comprobar exactamente si hay o no cambios anatómicos en las semillas de esta especie en respuesta al incremento térmico. Por otro lado; los resultados indican que las características germinativas de *A. dentata* si se afectan con el incremento de la temperatura. De manera similar, se ha encontrado que en el girasol mexicano (*Helianthus annuus* L.) ocurre un fenómeno similar, ya que las semillas fueron sometidas a 35° C y la germinación de sus semillas disminuyó a 40% (Debeaujon *et al.*, 2001).

Estudios similares, muestran que la germinación de semillas de *Amaranthus caudatus*, *A. hypochondriacus* y *Amaranthus* sp., fue inhibida conforme aumentaba la temperatura de 30°, 35° a 40° C, en este trabajo se especula que al aumentar las temperaturas se estaría afectando la membrana tilacoidal de los cloroplastos. Lo que disminuiría la tasa fotosintética generando menor producción de fotosintatos y en consecuencia disminuiría su translocación a la semilla en formación e impactaría directamente al embrión (Netshimbupfe *et al.*, 2022). Por otro lado, Yuan *et al.* (2018) desarrollaron un estudio con tres especies de la familia Asteraceae (*Ageratum conyzoides*, *Crassocephalum crepidioides* y *Conyza canadensis*), demostrando su baja tolerancia a temperaturas de hasta 40° C, ya que perdieron la viabilidad después de ser sometidas a dicha temperatura.

Por otro lado, estudios realizados con semillas de *Carica papaya* L. revelan que tiempos cortos de exposición a altas temperaturas provocan la desecación seminal, lo que limita el crecimiento del embrión e inhibe la protrusión de la radícula durante la germinación. Al contrario, la exposición a altas temperaturas por periodos más prolongados ocasiona la ruptura de la testa de la semilla, lo que provoca una reducción en la resistencia a la protuberancia de la raíz (Webster, 2016). Aunque en este trabajo no se investigó el efecto del tiempo de exposición, se puede decir que altas temperaturas provocan menor germinación y menor crecimiento de la plántula, observando un comportamiento cuadrático en el crecimiento de *A. dentata*, es decir que la temperatura más alta (41° C) generó un repunte en el crecimiento; probablemente porque a esta temperatura, la semilla presentó grietas, que facilitaron la protuberancia de la raíz. Con respecto a los nutrientes de las semillas de *A. dentata*, al parecer el efecto del incremento de temperatura no afectó su contenido; lo cual es contrario a lo reportado en semillas de *Oriza sativa*, donde el contenido de elementos estructurales de moléculas orgánicas como carbono, hidrógeno y oxígeno disminuyó como consecuencia del estrés por las altas temperaturas (Yamakawa y Hakata, 2010). En el trigo se ha encontrado que el contenido de nitrógeno también disminuye en respuesta a las temperaturas altas (Triboi et al., 2003; Barnabás et al., 2008).

Por otro lado, debido a que no hubo diferencias entre los extractos, pero si en las diferentes concentraciones. Asumimos que *A. dentata per se*, es una especie alelopática. El extracto hexánico contiene compuestos no polares como sesquiterpenos, hidrocarburos alifáticos, ácidos grasos y diterpenos que pueden ejercer alelopatía como se ha encontrado en extractos de *Zaluzania montagnifolia* Sch. Bip. (Villa-Ruano et al., 2013). Al igual, el extracto diclorometánico en *Acmella oleracea* L. integra compuestos como ácidos p-metoxi-cinámico y 3,4-dimetoxi-cinámico, ácidos 3,4-dimetoxi- y 3,4,5-trimetoxibenzoico y ácido palmítico (Araújo et al., 2021) y el metanólico aquellos con alta polaridad como taninos, fenoles y flavonoides; en especial tagitinina C, el cual es un aleloquímico extraído de *Tithonia diversifolia* y es identificado como un compuesto inhibidor (Suzuki et al., 2017).

En cuanto al impacto de los extractos en la germinación de la semilla de jitomate, en el presente estudio se encontró que la germinación de las semillas de jitomate no se vio afectada por los extractos hexánicos, diclorometánicos y metanólicos, no obstante, cuando la concentración de los extractos aplicados aumentaba se observaron diferencias significativas, este estudio coincide con lo reportado por Laynez y Méndez en el 2013 quienes informaron que, cuando las concentraciones de los extractos de *Tithonia diversifolia* aumentaban, era mayor el efecto inhibitor en la germinación de lechuga mostrando el mayor efecto en concentración al 1, 1.5 y 2 % (p/v). Por otro lado, en un estudio similar realizado en el 2010 por Llori y colaboradores, se encontró que hubo una inhibición en la germinación de semillas de *Vigna unguiculata* tratadas con extractos acuosos de *Cromolaena odorata*; esto infiere en que el número de semillas germinadas y la longitud de plántulas, se ven estrechamente ligados al nivel de concentración utilizado, lo que puede ser atribuido a la presencia de lactonas sesquiterpénicas, lo cual ha sido probado en la germinación de semillas dicotiledóneas (Murillo *et al.*, 2005). Se han descubierto diversos compuestos alelopáticos que son los encargados de causar efectos sobre otra planta. Rimando y colaboradores en el 2001 mencionan que el ácido p-cumárico es un compuesto inhibitor en la germinación, el cual es un aleloquímico comúnmente presente en plantas de la familia Asteraceae. Existe información que revela otros compuestos que interfieren en la germinación y crecimiento de plántulas, como el alfa-tertienilo, un derivado poliacetileno natural de las raíces de *Tagetes erecta* L., y fenilheptatrino, de las hojas de *Bidens pilosa* L., donde con una concentración de 0.4 ppm, logran causar efectos negativos (Glen Campbell *et al.*, 1982).

Nuestros resultados indican que la cantidad de clorofila a y b se ve afectada por los extractos metanólicos; dichos extractos podrían contener aleloquímicos que disminuyen la cantidad de ambas clorofilas. En otros estudios se ha encontrado que, los niveles de clorofila aumentaron al someter plántulas de arroz con ácido p-cumárico y ferúlico a 50, 100 y 200 ppm, a medida en que las concentraciones aumentaban, los niveles de clorofila aumentaban drásticamente (Yang *et al.* 2004). Es probable que dichas diferencias sean atribuibles a que nosotros medimos la clorofila en plántula en condiciones de laboratorio, mientras que en el trabajo de Yang se midió en invernadero

con plantas totalmente aclimatadas. Cabe mencionar que en plántulas hay una gran indiferenciación de plastidios, por lo que aún no completan la diferenciación en cloroplastos, la cual es dependiente de la luz, la mayoría no se ha diferenciado en cloroplasto, siendo los proplastidios los más abundantes (Crang et al. 2018).

Concluimos que *A. dentata* si pudiera ejercer alelopatía en cultivos de jitomate expuesto en condiciones de invernadero y campo. Por otro lado, a pesar de que esta especie tiene características de maleza (tolerancia a altas temperaturas e irradiación), nuestros resultados indican visualmente un ligero constreñimiento de las semillas a más altas temperaturas, de hecho, la germinación de semillas de esta Asteraceae si disminuye conforme estuvieron sometidas previamente a las más altas temperaturas. Pero esto necesita ser probado, vincular el efecto anatómico-estructural con la baja germinación de semillas.

PERSPECTIVAS

- * Realizar experimentos de alelopatía con otras especies considerando a *A. dentata* como emisora de aleloquímicos.
- * Analizar la fitoquímica de los extractos de *A. dentata* e identificar aquellos con posible actividad alelopática, a través de experimentos biodirigidos.
- * Debido a que las Asteraceae son emisoras de compuestos orgánicos volátiles con actividad alelopática. Es importante conocer esto en *A. dentata*.
- * Realizar un experimento de sometimiento de las semillas a diferentes temperaturas, pero donde se hagan mediciones morfométricas en ellas (tamaño del embrión, cotiledones, grosor de la testa, etc.).

LITERATURA CITADA

- Adhikary, P., y Tarai, P. (2013). Effects of Temperature and Gibberellic Acid (GA3) on seed Germination of *Vicia sativa*, *Chenopodium album* and *Physalis minima*. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 6(4), 629-632.
- Akula, R., y Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant signaling & behavior*, 6(11), 1720-1731.
- Almeselmani, M., Deshmukh, P. S., Sairam, R. K., Kushwaha, S. R., y Singh, T. P. (2006). Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress. *Plant science*, 171(3), 382-388.
- Ana Isabel García Torrico, Borja Jimenez Alfaro, Eduardo Fernandez Pascual. (2011). Implicaciones de la viabilidad y germinación de semillas en la conservación de *Aster pyrenaeus* Desf. ex DC. (Asteraceae). Actes del IX coloquio internacional de botànica pirenaico cantàbrica a ordino, andorra: 147-154.
- Anaya-López, J. L., Rojas-Tovar, L. M., Cisneros-López, H. C., & Acosta-Gallegos, J. A. (2022). RENDIMIENTO E ÍNDICE DE COSECHA DE GERMOPLASMA DE FRIJOL PINTO Y FLOR DE MAYO BAJO ESTRÉS POR TEMPERATURA ALTA. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(1), 33-33.
- Atkinson, N. J., y Urwin, P. E. (2012). The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of experimental botany*, 63(10), 3523-3543.
- Avendaño-González, Marcela, Badano, Ernesto I., Ramírez-Albores, Jorge E., Flores, Joel, & Flores-Cano, Jorge A. (2016). Differential allelopathy between genders of an invasive dioecious tree on desert plants. *Botanical Sciences*, 94(2), 253-262. <https://doi.org/10.17129/botsci.522>
- Blanco, Yaisys. (2006). LA UTILIZACIÓN DE LA ALELOPATÍA Y SUS EFECTOS EN DIFERENTES CULTIVOS AGRÍCOLAS Cultivos Tropicales, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana, Cuba, vol. 27, núm. 3, pp. 5-16

- Bugianesi, R., Salucci, M., Leonardi, C., Ferracane, R., Catasa, G., Azzini, E., y Maiani, G. (2004). Effect of domestic cooking on human bioavailability of naringenin, chlorogenic acid, lycopene and b- carotene in cherry tomatoes. *European and journal of nutrition*.
- Bombo, A. B., Filartiga, A. L., Garcia, V. L., y Appezzato-da-Glória, B. (2017). Secretary structures in *Aldama* species (Heliantheae–Asteraceae): morphology, histochemistry and composition of essential oils. *Flora*, 228, 39-49.
- Borguini, R. y Ferraz, E. (2009). Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxidants. *Food reviews international*. Vol. 25.
- Bufo, J., Amaro, A. C. E., de Araújo, H. S., Corsato, J. M., Ono, E. O., Ferreira, G., y Rodrigues, J. D. (2012). Períodos de estratificação na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa* L.) sob diferentes condições de luz e temperatura. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(3), 931-940.
- Cabeza Cepeda, Henry Ananías, Balaguera-López, Helber Enrique, & Useche de Vega, Dalia Soraya. (2021). Alelopatía del extracto de *Campomanesia lineatifolia* sobre *Taraxacum officinale*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(3), e2010. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:2010
- Cabrera-Rodríguez L, Villaseñor JL. (1987). Revisión bibliográfica sobre el conocimiento de la familia Compositae en México. *Biotica* 12: 131-147.
- Calderón de Rzedowski G. y Rzedowski J. (2004). *Manual de malezas de la región de Salvatierra, Guanajuato*. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo Complementario XX. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro.
- Canvin, D. T. (1965). The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oils from several oil seed crops. *Canadian Journal of Botany*, 43(1), 63-69.
- Caroca, R., Zapata, N., y Vargas, M. (2016). Efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 32(2), 94-101.

- Castillo. (2020). Efecto alelopático del zacate rosado (*Melinis repens*) en la germinación de chile y tomate. *Revista de ciencia y Tecnología*. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.
- Camero E. G. (1992). Efectos alelopáticos de la cebolleta (*Cyperus rotundus*) en los primeros estadios de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.). Trabajo de Diploma, UNAH. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, INIFAP. México. (2020).
- Christensen, S. (1993). *Weed supression in cereal varieties*. Min. Agric. Statens Planeavlsforsog. Denmark. N° 1. P 104. (Tesis Ph. D.)
- Clements DR, Jones VL. (2021). Rapid evolution of invasive weeds under climate change: Present evidence and future research needs. *Frontiers in Agronomy* 3:664034. doi: 10.3389/fagro.2021.664034
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2011)
- CONANP. (2011). Programa de Manejo Parque Nacional El Tepozteco. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 70 pp
- Conde, A., Chaves, M. M., y Gerós, H. (2011). Membrane transport, sensing and signaling in plant adaptation to environmental stress. *Plant and Cell Physiology*, 52(9), 1583-1602.
- Cheng, F., Cheng, Z. (2015). Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1020.
- Cheng F, AliM, LiuC, DengR, Cheng Z. (2020). El disulfuro de dialilo aleloquímico del ajo alivia la autotoxicidad en los exudados de la raíz causados por el cultivo continuo a largo plazo del tomate. *J Agric Food Chem*. 68:11684–11693.
- Chon, S. U., Jang, H. G., Kim, D. K., Kim, Y. M., Boo, H. O., y Kim, Y. J. (2005). Allelopathic potential in lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *Scientia Horticulturae*, 106(3), 309-317.

- Chou C. M. (1998). The role of allelopathy in subtropical agroecosystem in Taiwan. *Rice Abstracts*, 10 (3): 135.
- Crang R, Lyons-Sobaski S, Wise R. (2018). *Plant Anatomy. A concept-Based approach to the structure of seed plants*. Switzerland. Springer 732 pp.
- Croteau, R., Kutchan, T. M., y Lewis, N. G. (2000). Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and molecular biology of plants*, 24, 1250-1319.
- Dasgupta-Schubert, N., M. G. Barrera, C. J. Alvarado, O. S. Castillo, E. M. Zaragoza, S. Alexander, S. Landsberger y S. Robinson. (2011). The uptake of copper by *aldama dentata*: ecophysiological response, its modeling, and the implication for phytoremediation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 220(1), 37-55.
- DaMatta, F. M., y Ramalho, J. D. C. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian journal of plant physiology*, 18, 55-81.
- Debeaujon I, Léon-Kloosterziel KM, Koornneef M. (2001). Influencia de la testa en la latencia de las semillas, la germinación y la longevidad en Arabidopsis. *Plant Physiol. De de erratas en: Plant Physiol.* 2001 Feb;125(2):1139-41. PMID: 10677433; PMCID: PMC58877.
- Deepika Tripathi, Mithilesh Singh, Shashi Pandey-Rai. (2022). Crosstalk of nanoparticles and phytohormones regulate plant growth and metabolism under abiotic and biotic stress, *Plant Stress*, Volume 6, 100107, ISSN 2667-064X, <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100107>.
- Devasirvatham, V., Tan, D. K. Y., Trethowan, R. M., Gaur, P. M., y Mallikarjuna, N. (2010). Impact of high temperature on the reproductive stage of chickpea. In *Food security from sustainable agriculture proceedings of the 15th Australian Society of Agronomy conference* (pp. 15-18). New Zealand: Lincoln.

- Djanaguiraman, M., Prasad, P. V., y Seppanen, M. (2010). Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 999-1007.
- Georgiev, M., Pavlov, A., y Ilieva, M. (2004). Rosmarinic acid production by *Lavandula vera* MM cell suspension: the effect of temperature. *Biotechnology letters*, 26(10), 855-856.
- Georgieva, K. (1999). Some mechanisms of damage and acclimation of the photosynthetic apparatus due to high temperature. *Bulg. J. Plant Physiol*, 25(3-4), 89-99.
- Gómez, A. A. y Rivera, P. H. (1995). Descripción de arvenses en plantaciones de café. CENICAFE. 490 p.
- Guenni, O., Cameron, D. F., Edey, L. A., y Rose, C. (1994). Germinación y dureza en *Stylosanthes hamata* (Leguminosae). *Ecotrópicos*, 7(s1).
- Gourav Sharma, Jacob N. Barney, James H. Westwood, David C. Haak, (2021). Into the weeds: new insights in plant stress, Trends in Plant Science, Volume 26, Issue 10, Pages 1050-106 ISSN 1360-1385, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.06.003>.
- Guo, T., Gull, S., Ali, M.M. et al. (2022). Mitigación del estrés térmico en tomate (*Solanum lycopersicum*L.) mediante la aplicación foliar de ácido giberélico. *Sci Rep* 12, 11324. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15590>.
- Hammond-Kosack, K. E. y Jones, J. D. G. (2015). Responses to plant pathogens. in: Jones, R. L., Buchanan, B. B. and Grissem, W. (ed.) Biochemistry and molecular biology of plants, 2nd ed John Wiley & Sons Chichester, West Sussex. pp. 984-1050
- Harper J.R. y Balke N. (1981). Characterization of the inhibition of K⁺ absorption in oat roots by salicylic acid. *Plant Physiology* 68: 1349-1353.
- Hierro J, Callaway R. 2003. Alleopathy and exotic plant invasion *Plant Soil* 256:29-39.
- Iba, K. (2002). Acclimative response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance. *Annual review of plant biology*, 53(1), 225-245.

- Ishii-Iwamoto, E.L., Abraham, D., Sert, M.A., Bontato, C.M., Kelmer-Brancht, A.M., Bracht, A. (2006). Mitochondria as a site of allelochemicals action. En: Reigosa, M.J., Pedrol, N., González, L. (Eds.) Allelopathy: A physiological process with Ecosistemas 19 (1). Enero 2010. 88 ecological implications, pp. 267-284. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Isla, Marylenlid, Pérez, Alida Obregón Díaz, Ysbelia Aparicio Z., Rosa L. Cordero de Rojas Yndra Díaz, Clara Isla, José Chacón, Carmen Fernández, Jhender Rojas Fermín, Luis. (2021). Perfil fitoquímico, actividad biológica y fotoprotectora de las flores de *Aldama dentata* La Llave et Lex. Repositorio Institucional de la Universidad de Los Andes, Mérida - Venezuela: Página Principal, Revista de la Facultad de Farmacia - Volumen 62 (Especial).
- Jakovljević, D., Stanković, M., Warchoń, M. et al. (2022). Cultivo de células y órganos de albahaca (*Ocimum* L.) para la producción de metabolitos secundarios: una revisión. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 149, 61–79. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02286-5>
- Jan, R.; Asaf, S.; Numan, M.; Lubna; Kim, K.-M. (2021). Plant Secondary Metabolite Biosynthesis and Transcriptional Regulation in Response to Biotic and Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, 11, 968. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050968>.
- Jiménez-Vázquez, Andrea Mariel, Flores-Palacios, Alejandro, Flores-Morales, Alejandro, Perea-Arango, Irene, Gutiérrez, María del Carmen, Arellano-García, José de Jesús, & Valencia-Díaz, Susana. (2021). Seed longevity, viability and germination of four weed-ruderal Asteraceae species of ethnobotanic value. *Botanical Sciences*, 99(2), 279-290. <https://doi.org/10.17129/botsci.2743>.
- Khaoula Mokrani, Christina Kühn, Neji Tarchoun et al. (2022). Temperature Effects on Tuber Production and Carbohydrates Partitioning in Different Cultivars During Consecutive Stages of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Growth, PREPRINT (Version 1) available at Research Square [<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1243993/v1>]
- Khaeim, Hussein, Zoltán Kende, Márton Jolánkai, Gergő Péter Kovács, Csaba Gyuricza y Ákos Tarnawa. (2022). "Impacto de la temperatura y el agua en la germinación de

semillas y el crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays*L.)" *Agronomía*12, no. 2: 397.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12020397>

Kelsey, R. G., y Everett, R. L. (1995). Allelopathy. *Wildland plants: physiological ecology and developmental morphology*. Society for Range Management, Denver, CO, 479-549.

Kozarewa, I., Cantliffe, D. J., Nagata, R. T., y Stoffella, P. J. (2006). High maturation temperature of lettuce seeds during development increased ethylene production and germination at elevated temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 131(4), 564-570.

Krautmann, M., S. Turbay, y E. Riscala. (2001). Efectos alelopáticos de *Tridax procumbens* L. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Tucumán, Fac. de Agronomía y Zootecnia.

Kumar, M., Chandran, D., Tomar, M., Bhuyan, D. J., Grasso, S., Sá, A. G. A. y Carciofi, B. A. M. (2022). Radha; Dhumal, S.; Singh, S. et al. Potencial de valorización del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Semilla: Calidad nutracéutica, propiedades alimentarias, aspectos de seguridad y aplicación como ingrediente promotor de la salud en los alimentos. *Insulina*,43, 49.

Larkindale, J., Hall, J. D., Knight, M. R., y Vierling, E. (2005). Heat stress phenotypes of *Arabidopsis* mutants implicate multiple signaling pathways in the acquisition of thermotolerance. *Plant physiology*, 138(2), 882-897.

Little NG, DiTommaso A, Westbrook AS, Ketterings QM, Mohler CL. (2021). Effects of fertility amendments on weed growth and weed–crop competition: a review. *Weed Sci*. 69:132–146. doi: 10.1017/wsc.2021.1

Luengwilai, K., Beckles, D. M., & Saltveit, M. E. (2012). Chilling-injury of harvested tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Micro-Tom fruit is reduced by temperature pre-treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 123-128.

Macías, F. A., Molinillo, J. M., Galindo, J. C., Varela, R. M., Simonet, A. M., y Castellano, D. (2001). The use of allelopathic studies in the search for natural herbicides. *Journal of Crop Production*, 4(2), 237-255.

- Máková K, Prabhullachandran U, Štefková M, Spyroglou I, Pěňčík A, Endlová L, Novák O, Robert HS. (2022). El estrés a altas temperaturas a largo plazo impacta en el desarrollo de embriones y semillas en *Brassica napus*. Abr 22;13:844292. DOI: 10.3389/FPLS.2022.844292. PMID: 35528932; PMCID: PMC9075611.
- Mallik, A. U. y Inderjit (2002). Problems and prospects in the study of plant allelochemicals: a brief introduction. In *Chemical Ecology of Plants: Allelopathy in Aquatic and Terrestrial Ecosystems* (pp. 1-5). Birkhäuser, Basel.
- Mancini, Ilaria, Guido Domingo, Marcella Bracale, Francesco Loreto y Susanna Pollastri. (2022). "La emisión de isopreno influye en el perfil proteómico de las plantas de *Arabidopsis* en condiciones de estrés por sequía y bien regadas" *International Journal of Molecular Sciences* 23, no. 7: 3836. <https://doi.org/10.3390/ijms23073836>
- Manfreda, V. T., Alcaraz, M. L., y Scaramuzzino, R. L. (2020). Germination of *Baccharis dracunculifolia* subsp *tandilensis*: characterization based on temperature, light, and salinity. *Rodriguésia*, 71.
- Maqueira-López, L. A., Roján-Herrera, O., Solano-Flores, J., y Milagros-Santana, I. (2021). Germinación de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a diferentes temperaturas. *Cultivos Tropicales*, 42(2).
- Marylenlid, I., Alida, P., Ysbelia, O., Rosa, R., Yndra, C., Clara, D., José, I., Carmen, C., Jhender, F., & Luis, R. F. (2020). Perfil fitoquímico, actividad biológica y fotoprotectora de las flores de *Aldama dentata* La Llave et Lex. *Rev Fac Farm.* 62(Número Especial): 4-14.
- Maroto, J. (1990). Elementos de horticultura general. Especialmente aplicada al cultivo de plantas de consistencia herbácea. Mundi Prensa, Madrid, ESPAÑA.
- Magiero, E. C., Assmann, J. M., Marchese, J. A., Capelin, D., Paladini, M. V., y Trezzi, M. M. (2009). Efeito alelopático de *Artemisia annua* L. na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.) e leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 11, 317-324.

- Miranda, M.A.F.M.; Varela, R.M.; Torres, A.; Molinillo, J.M.G.; Gualtieri, S.C.J.; Macías, F.A. (2015). Fitotoxinas de *Tithonia diversifolia*. *J. Nat. Prod.* 78,1083–1092. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- Molisch, H. , (1937). *Der Einfluss eine Pflanze auf die andere : Allelopathie*. Jena:Gustav Fischer, 106
- MORENO, Fernando; PLAZA, Guido A. y MAGNITSKIY, Stanislav V. (2006). Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). *Agron. colomb.* [en línea]. vol.24, n.2 [citado 2022-11-14], págs. 290-295.
- Movahedi, Ali, Amir Almasi Zadeh Yaghtuti, Hui Wei, Paul Rutland, Weibo Sun, Mohaddeseh Mousavi, Dawei Li y Qiang Zhuge. (2021). "Metabolitos secundarios de plantas con una visión general de *Populus*" *International Journal of Molecular Sciences*22, no. 13: 6890. <https://doi.org/10.3390/ijms22136890>.
- Munier-Jolain, N. G., y Ney, B. (1998). Seed growth rate in grain legumes II. Seed growth rate depends on cotyledon cell number. *Journal of Experimental Botany*, 49(329), 1971-1976.
- Murillo, E. y L. M. De Los Reyes. (2001). Potencial fitotóxico de lixiviados acuosos y los extractos orgánicos de *Artemisia absinthium* (Asteraceae). *VITAE*. 10 (1), 51-58.
- Nagesh Babu, R., y Devaraj, V. R. (2008). High temperature and salt stress response in French bean (*Phaseolus vulgaris*). *Australian Journal of Crop Science*, 2(2), 40-48.
- Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Ahamed, K. U., Hakeem, K. R., Ozturk, M., y Fujita, M. (2015). Plant responses and tolerance to high temperature stress: role of exogenous phytoprotectants. In *Crop production and global environmental issues* (pp. 385-435). Springer, Cham.
- Naila, S., Haq, Z.u., Abdulllah, Salam, A. (2021). Allelopathic Effect of *Taraxacum officinale* L. on Germination and Physiology of Wheat. In: Jhariya, M.K., Banerjee, A., Meena, R.S., Kumar, S., Raj, A. (eds) *Sustainable Intensification for Agroecosystem Services and Management* . Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3207-5_19

- Nascimento, W. M., Cantliffe, D. J., y Huber, D. J. (2004). Ethylene evolution and endo-beta-mannanase activity during lettuce seed germination at high temperature. *Scientia Agricola*, 61, 156-163.
- Nascimento, W. M., Croda, M. D., y Lopes, A. C. A. (2012). Produção de sementes, qualidade fisiológica e identificação de genótipos de alface termotolerantes. *Revista Brasileira de Sementes*, 34, 510-517.
- Nascimento, W. M., y Pereira, R. S. (2007). Testes para avaliação do potencial fisiológico de sementes de alface e sua relação com a germinação sob temperaturas adversas. *Revista Brasileira de Sementes*, 29, 175-179.
- Nawrot-Chorabik, Katarzyna, Małgorzata Sułkowska, Małgorzata Osmenda, Vasyl Mohytych, Ewa Surówka y Dariusz Latowski. (2022). The Impact of Biotic and Abiotic Stress Factors on Development of European Ash Tissue Cultures. *Forests* 13, no. 1: 59. <https://doi.org/10.3390/f13010059>.
- Netshimbupfe, M. H., Berner, J. y Gouws, C. (2022). Los efectos interactivos de la sequía y el estrés por calor en la eficiencia fotosintética y los mecanismos de defensa bioquímica de las especies de *Amaranthus*. *Interacciones planta-ambiente*.
- Nilsen, E.T. y D.M. Orcutt. (1996). *Physiology of plants under stress. Abiotic factors*. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Park, JI., Cho, DM., Oh, JH. *et al.* (2022) Mejora de la germinabilidad de las semillas de lechuga con cebado en tambor en condiciones de alta temperatura. *Hortic. Entorno. Biotecnología*. 63, 477–487. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00423-9>.
- Payus, CM, Herman, F. & Sentian, J. (2022). Combined climate impacts and vulnerability index on coastal ecosystems in prediction of future scenarios: extended sustainable indicator tool for adaptive strategy. *SN Appl. Sci.* 4, 222 <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05112-x>.
- Pelayo, V. D. R. T., García, J. A. L., López, S. L. E., y Helguera, O. E. A. (2018). Estudio etnobotánico y evaluación citotóxica de extractos etanólicos de plantas de uso

medicinal en Tlalchi, Ixhuacán de los Reyes, Veracruz, México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 6(2. Especial), 34-41.

Peñuelas, J., Llusia, J., Asensio, D., & Munné-Bosch, S. (2005). Linking isoprene with plant thermotolerance, antioxidants and monoterpene emissions. *Plant, Cell & Environment*, 28(3), 278-286.

Phillips, M.A., and Croteau, R.B. (1999). Resin-based defenses in conifers. *Trends in Plant Science* 4:184-190.

Porch, T. G., y Hall, A. E. (2013). Heat tolerance. In *Genomics and breeding for climate-resilient crops* (pp. 167-202). Springer, Berlin, Heidelberg.

Qiu, N., and C. Lu. (2003). Enhanced tolerance of photosynthesis against high temperature damage in salt-adapted halophyte *Atriplex centralasiatica* plants. *Plant Cell Environ.* 26:1137-1145.

R. García-Mateos, R. Pérez-Lealb, M. Soto-Hernándezc, C. Peña Valdivia. (2005). Plantas con actividad alelopática: fuente de herbicidas naturales. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 56230, Posgrado de Horticultura, Departamento de Fitotecnia.

Rajput, Vishnu D., Harish, Rupesh Kumar Singh, Krishan K. Verma, Lav Sharma, Francisco Roberto Quiroz-Figueroa, Mukesh Meena, Vinod Singh Gour, Tatiana Minkina, Svetlana Sushkova y Saglara Mandzhieva. (2021). "Recent Developments in Enzymatic Antioxidant Defence Mechanism in Plants with Special Reference to Abiotic Stress" *Biology* 10, no. 4: 267. <https://doi.org/10.3390/biology10040267>.

Rice-Evans, C., Miller, N., y Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in plant science*, 2(4), 152-159.

Rivero-Hernández O., Alejandra López-Rubio, Eduardo Chávez-Ponce y Alicia Melgoza-Porch, T.G., and A.E. Hall. (2020). Allelopathic effect of Natal grass (*Melinis repens*) on germination of pepper and tomato. vol. 14 núm. 2: *tecnociencia Chihuahua* vol. 14 núm. 2. DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v14i2.529>.

- S. Fahad, A.A. Bajwa, U. Nazir, S.A. Anjum, A. Farooq, A. Zohaib, S. Sadia, W. Nasim, S. Adkins, S. Saud, M.Z. Ihsan, H. Alharby, C. Wu, D. Wang, J. Huang. (2017). Producción de cultivos bajo sequía y estrés por calor: respuestas de las plantas y opciones de manejo Frente. *Plant Sci.*, 8 (2017), p. 1147
- Roschewitz, I., Gabriel, D., Tschardtke, T., y Thies, C. (2005). The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. *Journal of applied ecology*, 42(5), 873-882.
- Royo, C., Dreisigacker, S., Alfaro, C., Ammar, K., y Villegas, D. (2016). Effect of Ppd-1 genes on durum wheat flowering time and grain filling duration in a wide range of latitudes. *The Journal of Agricultural Science*, 154(4), 612-631.
- Sarin, R (2005) Useful metabolites from plant tissue cultures. *Biotechnology* 4:79-93.
- Sano N, Rajjou L, North HM, Debeaujon I, Marion-Poll A, Seo M. (2016). Staying alive: Molecular aspects of seed longevity. *Plant Cell and Physiology* 57: 660-674. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcv186>
- Schwacke, R., Grallath, S., Breikreuz, K. E., Stransky, E., Stransky, H., Frommer, W. B., y Rentsch, D. (1999). LeProT1, a transporter for proline, glycine betaine, and γ -amino butyric acid in tomato pollen. *The Plant Cell*, 11(3), 377-391.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2020). SAGARPA.
- Sepúlveda-Jiménez, G. S., Ducoing, H. P., y Sosa, M. R. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista mexicana de fitopatología*, 21(3), 355-363.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018). SIAP
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., & Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes rendus biologiques*, 331(3), 215-225.
- Singh, H. P., D. R. Batish, J. K. Pandher y R. K. Kohli. (2005) Phytotoxic effects of Parthenium hysterophorus residues on three Brassica species. *Weed Biology and Management* Volume 5 Issue 3 Page 105-September.

- Singh M, Kukal MS, Irmak S and Jhala AJ (2022) Water Use Characteristics of Weeds: A Global Review, Best Practices, and Future Directions. *Front. Plant Sci.* 12:794090. doi: 10.3389/fpls.2021.794090
- Singsaas, MM Laporte, J.Z. Shi, RK Monson, DR Bowling , K. Johnson , MT Lerdau , A. Jas entuliytana , TD Sharkey. (1999). La cinética de la fluctuación de la temperatura de las hojas afecta la emisión de isopreno de las hojas del roble rojo (*Quercus rubra* l.) *Tree Physiol*, págs. 917 – 924
- Sodaeizadeh H., Rafieiohossaini M. y Van Damme P. (2010). Herbicidal activity of a medicinal plant, *Peganum harmala* L., and decomposition dynamics of its phytotoxins in the soil. *Industrial Crops and Products* 31: 385-394
- Stotz GC, Salgado-Luarte C, Escobedo VM, Valladares F, Gianoli E. (2021). Global trends in phenotypic plasticity of plants. *Ecology Letters* 00:1-15. DOI: 10.1111/ele.13827
- Torres-Pelayo Vianey del Rocio, Lozada-García José Armando, Enríquez-López Sandra Lizveth, Vallejo, F., & Estrada, S. (2004). Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia. *Feriva. Palmira*.
- Torrico, A. I. G., Jiménez-Alfaro, B., y Pascual, E. F. (2011). Implicaciones de la viabilidad y germinación de semillas en la conservación de *Aster pyrenaeus* desf. ex dC.(Asteraceae). *Andorra*, 147-154.
- Triboï, E., Martre, P. y Triboï-Blondel, A. M. (2003). Los cambios inducidos ambientalmente de la composición de proteínas para desarrollar granos de trigo están relacionados con cambios en el contenido total de proteínas. *J. Exp. Bot.* 54, 1731–1742. DOI: 10.1093/JXB/ERG183
- Van der Werf A., Kooijan A., Welschen R., Lambers H. (1988). Respiratory energy costs for the maintenance of biomass, for growth and for ion uptake in roots of *Carex diandra* and *Carex acutiformis*. *Physiol. Plant.* 72: 483-491.
- Velikova, V., y Loreto, F. (2005). On the relationship between isoprene emission and thermotolerance in *Phragmites australis* leaves exposed to high temperatures and during the recovery from a heat stress. *Plant, Cell & Environment*, 28(3), 318-327.

- Villa-Ruano, N., Pacheco-Hernández, Y., Lozoya-Gloria, E., Rubio-Rosas, E., Ruiz-González, N., Martínez-Orea, Y., ... & Ramón-Canúl, L. G. (2013). Lipophilic constituents and some biological activities of hexanic extracts from *Zaluzania montagnifolia*, (Sch. Bip.) Sch. Bip. (Asteraceae). *Agrociencia*, 47(4), 335-346.
- Villaseñor Ríos, J. L., y Espinosa García, F. J. (1998). *Catálogo de malezas de México* (No. 632.50972 V5C3).
- Wahid, A. (2007). Physiological implications of metabolite biosynthesis for net assimilation and heat-stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. *J. Plant Res.* 120:219-228.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and experimental botany*, 61(3), 199-223.
- Wahid, A., y Close, T. J. (2007). Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. *Biologia Plantarum*, 51(1), 104-109.
- Walters D. (2010). What defenses do plants use 15- 75. En: Walters D. (Ed.). *Plant defense: Warding off attack by pathogens, pests and vertebrate herbivores*, Wiley-Blackwell, USA.
- Wang, X., Dinler, B. S., Vignjevic, M., Jacobsen, S., & Wollenweber, B. (2015). Physiological and proteome studies of responses to heat stress during grain filling in contrasting wheat cultivars. *Plant Science*, 230, 33-50.
- Webster RE, Waterworth WM, Stuppy W, West CE, Ennos R, Bray CM, Pritchard HW. (2016). Mecanismos biomecánicos, bioquímicos y morfológicos de la germinación mediada por choque térmico en la semilla de papaya *Carica*. *J Exp Bot.* 2016 Diciembre;67(22):6373-6384. DOI: 10.1093/JXB/ERW402. Epub 2016 Noviembre 2. PMID: 27811004; PMCID: PMC5181581.
- Wink, M., y Schimmer, O. (1999). Modes of action of defensive secondary metabolites. *Annual plant reviews*, 3, 17-133.

- Yamakawa, H., y Hakata, M. (2010). Atlas del metabolismo relacionado con el llenado de granos de arroz a alta temperatura: el análisis conjunto del metaboloma y el transcriptoma demostró la inhibición de la acumulación de almidón y la inducción de la acumulación de aminoácidos. *Fisioal de células vegetales*. 51, 795–809. doi: 10.1093/pcp/pcq034.
- Yang y col. Yang D, Li Y, Shi Y, Cui Z, Luo Y, Zheng M, Chen J, Li Y, Yin Y, Wang Z. 2016. Las citoquininas exógenas aumentan el rendimiento de grano de los cultivares de trigo de invierno al mejorar las características de permanecer verde bajo calor estrés. *MÁS UNO*. 2016; 11 (5): e0155437. doi: 10.1371 / journal.pone.0155437
- Yu, J. H., Zhang, Y., Niu, C. X., Li, J. J. (2006). Effects of two kinds of allelochemicals on photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of *Solanum melongena* L. seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17, 1629-1632.
- Yufang Xu, Chengcai Chu, Shanguo Yao, (2021).The impact of high-temperature stress on rice: Challenges and solutions,*The Crop Journal*,Volume 9, Issue 5, Pages 963-976, ISSN 2214-5141, <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.02.011>.Zhao, D. L., Atlin, G. N., Bastiaans, L., y Spiertz, J. H. J. (2006). Developing selection protocols for weed competitiveness in aerobic rice. *Field Crops Research*, 97(2-3), 272-285Zhiyong Ni, Na Liu, Yuehua Yu, Chenxi Bi, Quanjia Chen, Yanying Qu, (2021). The cotton 70-kDa heat shock protein GhHSP70-26 plays a positive role in the drought stress response, *Environmental and Experimental Botany*, Volume 191, 104628, ISSN 0098-8472, <https://doi.org/10.1016/j.envexbot.2021.104628>.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Cuernavaca, Morelos, a 23 de noviembre del 2022.

VOTOS APROBATORIOS DE TESIS

Los integrantes de la Comisión Revisora de la tesis titulada: "**Alelopatía y tolerancia al incremento térmico como estrategia de permanencia de la maleza *Aldama dentata* (Asteraceae)**", que presenta la **C. Alejandra Armenta Medrano**, del Programa de Posgrado Maestría en Biotecnología, bajo la dirección de la DRA. SUSANA VALENCIA DÍAZ, han determinado que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado, por lo que emiten su **VOTO APROBATORIO**.

Comisión Revisora de tesis (firma electrónica)

Dra. Susana Valencia Díaz (directora de tesis, CEIB UAEM)

Dr. José de Jesús Arellano García (CEIB UAEM)

Dr. Ismael León Rivera (CIQ UAEM)

Dr. Joel David Flores Rivas (IPICyT SLP)

Dra. Irene de la Concepción Perea Arango (CEIB UAEM)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

SUSANA VALENCIA DIAZ | Fecha:2022-11-24 12:54:23 | Firmante

c4oQjmC8q4K6Yv3u19qsiX+VeFxGf3NvoG74rog8798IEzB5U+FdRLLU4qpvyqYoXPam9eelOwDSj2om8K7Es3bcmxkDwY8kDFuPyhBqO+5RPyk7XHMpgZi82UydA3tQKth5HW9gLOY9NUllocqPosH/MUEHU66rMjs46tr/zq/pJ2oqKGFk5edbp74njuaOulIiApg9wlg8N1z8lfGHT+QjiuLxgAoKN51XSlP8Gu1aqIezrB0X1FGGiVBT51NsaeH/zx1nmQKMv1GrUppUvm9OxpRjWsqApWbUztrYlibJWi+Z8kiMof4Zv8jMyjenedQmseUulicW0gdFLpswA==

JOSE DE JESUS ARELLANO GARCIA | Fecha:2022-11-24 13:05:36 | Firmante

wicUl6rl35cJbq/g6+Vcc3MwM67jUSoLgs7soQLMe+Yo1CCIRcJBp8SKGUp32Qlh5BexijV+JCOOgigRNTzHKOGXflmm8QC19OyPIMoYWRBuwtCpHBEIVJBFZVobSh9vPFbBFMDBT5VEU87or/wCgQEjWqeUM6uyZ8UXRm1iYd1fFSuu7Qu7kWCt3qblndNHfezSjZt889RzkQHJtbf4I60U2g6m+RJsrmj7R6CZSSVnCdahEzL6m8FZZwbMYVzfbLoUSj/qKrO+5FvUulaXDR16Y7AgYHx8kPw3ljl8EJQEZKMoqFvEvJseUKERCI/R7OKQ9boBcz6vKdG1ZIJg==

ISMAEL LEON RIVERA | Fecha:2022-11-24 13:08:47 | Firmante

bjgRIIF8EGNz6U6b2pvULwW+0zWrFPUfyqhl1+9U7FAf8f+3Aslhi3gUaVRYkU9UvSVX36FPgYDbi4G6NSQOanjmv9tMX5mxAty2Wd45gcdmB2y2cZoXrZbnnGKMvMtAljKYhcy+SNXe7icaxRHJP7dmY45aGLK2AcIqJE6AmPPvXUKkBL56rpcqoxoHpR5/QjbrI+RIngNRoVmwcMbzdRqFuvTssEsjgyaWn385fZXTGldC0SgVxlkhOlqcKUI0I57e/pFF/RvuPKAEZSJGZbtWA60coAzeBKY5sewQQuEMTK4PC7uaPK0EVVws9iwDvEva7Yg4fFzgpZrFOnAZQ==

IRENE DE LA CONCEPCION PEREA ARANGO | Fecha:2022-11-24 13:35:45 | Firmante

f546b4uoiwX9SDQ6rLiEvpZzwhBhkdPq8UyMkvD0N5s0vKv7/eQQvHIFkqMnuSAHhk8gyebvGnaWH0rsCtIWez9+S2ohJkV3kLLV2gSyaGMUeSzwgaHFxCIOJSREQtPn+lq6I97H3UivCo7uI91n4dLyqJEYEPQnA03Do3569RIWHzoFmgnQYmJctS2aWgZkXuKyo3rUf+Z87UAUXRbPBIxtp5lhjxvRcxAGgePEQQkI9BoUBTppjgebbqFgfYy1Txb4n36aGMaZcgxO4XlylrbX2vRn0NLFZIKOEdVr7R3w1Da8JPnQ/GCl8cqrYYklwtP3drkkFflb5cJkg==

JOEL DAVID FLORES RIVAS | Fecha:2022-11-24 13:54:56 | Firmante

KKQ76D3EXxldb+0EmSCKCP20bHL/0JByrSI1ajY/+da5BF8+obdgGQHiQ7EFM/DkuiuHUOsHz/VbYEdbKi/7GLysoU/SjRmwCdVIMczQkJKsmzaeb0ZOm3+OOugvGrX6Oz7TV8Ssdg/kAHI3LwlAjBRuEowkwyIrl611UrAsjo7VrcsrpeuJMzASQGxGnhH4aQ3O607p5mPaq/XFIX9oVnqcQA4/h/sb7G1cCV5AxFNwsy3SmySxptdiAeSLZT2keJY/p8E3L3ITgn2Z2T5/RAn1Yz1Mv3lqVL3QuecevDaAjhEXGLXDGvU/stLF7pKYLIqh79G48AA59QduxsrWA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



K61grhKY

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/2LozVUvbpRzxVLvI7MAVgEw041AsefAC>

