

“INFLUENCIA DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ÁCIDO GIBERÉLICO
(C₁₉H₂₂O₆) EN LA GERMINACIÓN DE LA PLANTA *Capsicum annuum*”

¿EN QUÉ MEDIDA LAS DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ÁCIDO GIBERÉLICO
(C₁₉H₂₂O₆) AFECTAN EL PROCESO DE GERMINACIÓN DE LA SEMILLA DE LA
PLANTA DE AJÍ *Capsicum annuum*?

ÁREA MONOGRÁFICA

Biología

Nro. de palabras: 3751

Tabla de contenido

Introducción	3
Capítulo 1/ Marco teórico	5
1.1 Antecedentes	5
1.2 Marco conceptual	8
Capítulo 2/ Metodología	12
2.1. Pregunta de investigación:	12
2.2. Hipótesis:	12
2.3. Variables:	12
2.4. Materiales	13
2.5. Procedimiento:	14
2.6 Normas de seguridad	16
Capítulo 3 /Análisis y resultados.....	17
3.1 Datos brutos	17
3.2 Datos procesados	21
3.3 Gráficos.....	22
3.4 Prueba estadística	23
Conclusiones.....	26
Referencias.....	28
Anexos.....	29

Introducción

El género *Capsicum annuum* tiene un papel muy importante en el sector hortícola del país; dentro de la cultura indígena, esta especie de planta es categorizada como un cultivo esencial en los arreglos de policultivo con el fin, de reducir la pérdida de humedad en el suelo; además, es muy importante dentro de la medicina ancestral ya que es utilizado para aliviar el dolor y el hinchazón de tejidos y órganos gracias a la presencia de capsaicina ($C_{18}H_{27}NO_3$); sustancia química que afecta las células nerviosas de la piel que están asociadas con el dolor, lo que produce una disminución de la actividad de los nociceptores y una menor sensación de dolor (Méndez, Ligarreto, Hernández, & Melgarejo, 2004)

Para este trabajo de investigación se planteó la pregunta problema: “**¿En qué medida las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) afectan el proceso de germinación de la semilla de la planta de ají *Capsicum annuum*?** La investigación tiene un enfoque cuantitativo de tipo experimental y su objetivo fue determinar la concentración del ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) en la que las semillas de *Capsicum annuum* germinaron en menor tiempo. Para tal fin, se formularon las siguientes hipótesis: H0: La tasa de germinación de la semilla *Capsicum annuum* es independiente de las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) y H1: La tasa de germinación de la semilla *Capsicum annuum* depende de las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$).

Para soportar el trabajo de investigación efectuado, se hizo una rigurosa búsqueda de información en fuentes confiables relacionadas con la fisiología vegetal, la horticultura y la influencia del ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) en el proceso de germinación de la especie *Capsicum annuum*. Después se realizó una fase experimental donde se prepararon 70 cajas de Petri para

iniciar el proceso de germinación de las semillas de *Capsicum annuum* y se procedió a regar las semillas cada 48 horas con diferentes concentraciones de ácido giberélico, para determinar en qué tiempo y con qué concentración las semillas de *Capsicum annuum* germinan.

El tema es de gran relevancia ya que el ácido giberélico es una sustancia que es usada frecuentemente en la agricultura, lo que promueve mi interés por este tema, debido a que quiero comprobar cuál es la concentración que permite minimizar los tiempos de germinación de la semilla de la planta *Capsicum annuum*.

Capítulo 1/ Marco teórico

1.1 Antecedentes

La planta *Capsicum annum* es una hortaliza originaria de Bolivia, Perú, el sur de México y Colombia, este tipo de cultivo es considerado un ingrediente esencial en la gastronomía asiática, mediterránea y latinoamericana por tener un elevado valor nutritivo. La germinación de estas semillas es lenta, esto se debe a la testa y el endosperma que limitan la emergencia de la radícula por lo que requiere altas temperaturas, específicamente de 20 a 30 °C (*Capsicum annum* | Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas, 2012). Además, tiene propiedades anticancerígenas y analgésicas gracias a su alto contenido en capsaicina (Escalante, 2018)

El ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$), conocido como giberelina, A3, AG o AG3 es un fitorregulador lo que significa que este ácido es una hormona vegetal, que estimula el crecimiento del tallo, la multiplicación celular entre otros (TecnicoAgricola, 2012).

Las sustancias fitorreguladores se sintetizan en un tejido de la planta y se transportan a un órgano diferente donde a bajas concentraciones provocan una respuesta fisiológica (Probelte - Los fitorreguladores y el crecimiento de las plantas, 2020). Este ácido fue elegido para la realización del experimento debido a su amplio uso en la agricultura y su posible afectación en la germinación de las semillas.

Estudios realizados han permitido concluir que este ácido administrado en diferentes concentraciones puede afectar la germinación significativamente (Saldívar-Iglesias et al., 2010). En otro estudio se reafirma la afectación que tiene este ácido en la germinación, llegando a la conclusión de que el ácido giberélico acelera el proceso de germinación y afecta la altura, grosor del tallo y número de hojas de la planta. (López Calle, Zulmy Mariel, 2018).

Durante los últimos años se han realizado diferentes investigaciones sobre los efectos del ácido giberélico en proceso de germinación y crecimiento de las plantas, al ser este fenómeno interesante es necesario experimentar y conocer la concentración ideal en la que la fitohormona estimula en menor tiempo la germinación de semillas.

En el 2010 se hizo una investigación con 2 tiempos de remojo de las semillas en este ácido y 6 diferentes concentraciones, en este se concluyó que el periodo de germinación, la velocidad de germinación y el porcentaje de germinación donde todas estas fueron incrementadas, el mayor porcentaje de germinación fue 87% con la aplicación de 250mg/l de ácido giberélico (Saldívar-Iglesias, P., Laguna-Cerda, A., Gutiérrez-Rodríguez, F., & Domínguez-Galindo, M, 2010).

Más adelante en un estudio realizado en 2012 por el departamento de Botánica de la Universidad Autónoma Agraria, específicamente el área de Agroplásticos del centro de investigación en química aplicada y el departamento de fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria se aplicó ácido giberélico y cloruro de sodio (NaCl) en semillas de chile Simojovel, el experimento mostró un incremento significativo en la germinación, el mayor porcentaje de germinación se debió a la exposición previa de 1000 semillas en NaCl y una concentración de 350 mg/L de ácido giberélico. (De La Rosa et al., 2012)

Sin embargo, en otro estudio llamado “Escarificación Química Y Aplicación De Ácido Giberélico Para La Germinación De Semillas De Cultivares De Mora (*Rubus glaucus* BENTH)” llegó a la conclusión que el ácido giberélico solo tuvo efecto con una de las dosis con la que se presentó un incremento en el porcentaje de germinación mediante la inmersión de las semillas en diferentes soluciones químicas y las aplicaciones de ácido giberélico en diferentes concentraciones después de que la semilla fuera tratada con un químico escarificante. (Vásquez, W., et al.,2019).

En otro artículo publicado en 2007 se estudió el efecto del ácido giberélico sobre el crecimiento de coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). En este, los resultados demostraron que la masa seca en la etapa 1 tuvo mejor resultados con la concentración de $125 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y en la etapa 2 con $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Se llegó a la conclusión que en cuanto a la altura de la planta en promedio no demostró ninguna diferencia significativa con ninguna de las concentraciones de ácido giberélico.

Con respecto al número de flores el mejor resultado fue con $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en la etapa 1, en la segunda etapa no hubo diferencias significativas (González et al., 2007).

En otro estudio realizado en 2014 por Joseph Campos-Ruíz, Lisi Cerna-Rebaza de Chico, Julio Chico-Ruíz se demostró que, el ácido giberélico actuó como un inhibidor con las concentraciones de 1000, 2000 y 3000 ppm en las semillas de *Cinchona pubescens*, pero se concluyó que este solo funciona de la manera esperada en ciertos tipos de semillas y en altas concentraciones. Para la parte experimental de esta investigación se usaron cajas de Petri y toallas de papel humedecidas con las diferentes sustancias utilizadas, entre esas el ácido giberélico. (Campos Ruíz et al., 2014).

En otra publicación llamada “Respuesta fisiológica de la semilla chile piquín [*Capsicum annum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill] al ácido giberélico e hidrotermia” esta investigación consistió en aplicaciones de ácido giberélico a las semillas después de ser introducidas en agua a diferentes temperaturas por diferentes periodos de tiempo y tuvo como conclusión que el ácido giberélico ($\text{C}_{19}\text{H}_{22}\text{O}_6$) provoca la germinación y vigor de plantas y que este promovió hasta el 82% de la germinación de la planta (García Federico et al., 2010)

1.2 Marco conceptual

Semilla: La semilla surge de la embriogénesis cigótica que abarca los cambios estructurales, morfológicos y de expresión génica que van desde la germinación del cigoto hasta la maduración del embrión. El desarrollo de la semilla usualmente se divide en cuatro partes:

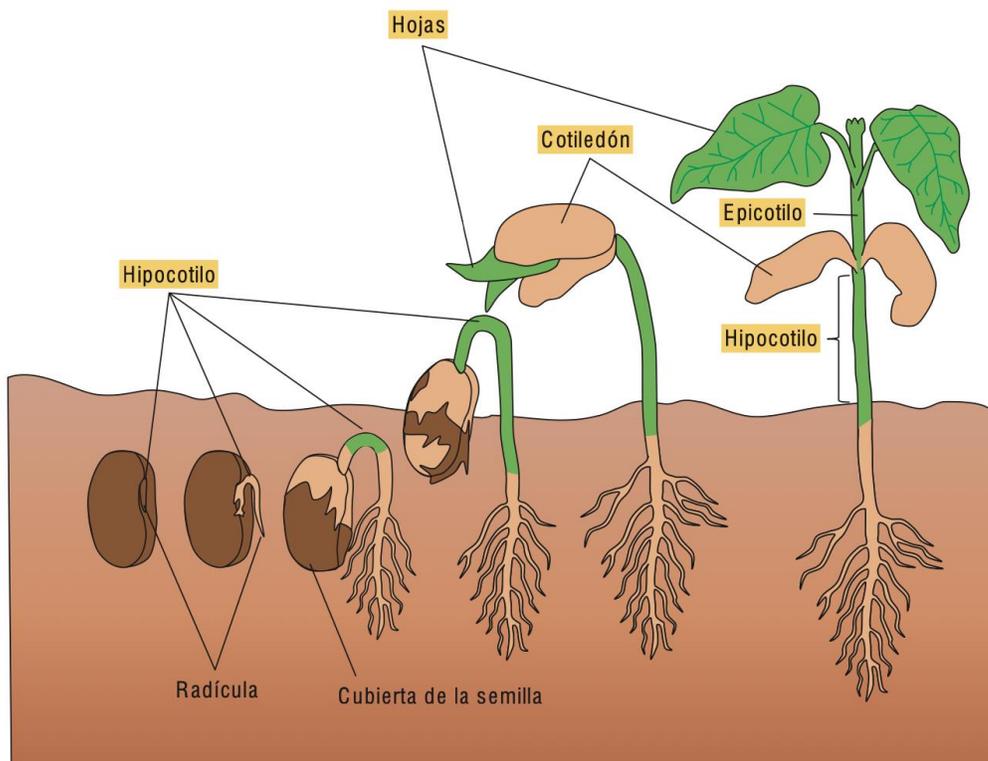
- Histodiferenciación: Se producen divisiones nucleares y se forman las paredes celulares.
- Expansión: en esta fase se detiene el crecimiento por división celular e inicia el crecimiento por elongación celular.
- Maduración y desecación: son fases prácticamente simultáneas. El inicio de la maduración hace que se paralice el ciclo celular y que se aumente los niveles de ácido abscisónico y la desecación hace que la semilla pierda agua. (Escaso, F (2010). Fundamentos básicos de la fisiología vegetal y animal. Pearson.)

Germinación: La germinación es un grupo de procesos que se generan en la semilla a partir de que el embrión empieza a desarrollarse, hasta que se ha conformado una pequeña plántula que puede existir por cuenta propia. (De La Cuadra, n.d) La germinación empieza con la imbibición y finaliza con el proceso de elongación de la radícula. Las fases se llaman: Imbibición, germinación “sensu stricto” y fase de crecimiento (Pita & Perez Garcia, n.d.)

Imbibición: la imbibición marca el inicio de la germinación, esta es el ingreso de agua en la semilla desde un medio exterior (Pita & Perez Garcia, n.d.) Este proceso se produce en tres etapas que son: la absorción de agua, una fase de meseta y el incremento de en la absorción de agua ((Escaso Santos et al., (2010). Fundamentos básicos de la fisiología vegetal y animal. Pearson.)

Fase de germinación “sensu stricto”: se distingue porque produce una reducción en la absorción de agua de las semillas, en esta fase tiene lugar una aceleración en el metabolismo de la semilla; lo cual es fundamental para la última etapa de la germinación (Pita & Perez Garcia, n.d.)

Fase de crecimiento: Esta es la última etapa de la germinación; al incrementar la actividad metabólica, se produce el crecimiento y emerge la radícula a través de las cubiertas seminales (Pita & Perez Garcia, n.d.)



(Escaso, F (2010). Págin 47. Fundamentos básicos de la fisiología vegetal y animal.

Pearson.)

Ácido giberélico: El ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) es un fitorregulador, es decir que este ácido es una hormona vegetal que estimula la germinación, el crecimiento del tallo, la multiplicación celular entre otros. Actualmente los fitorreguladores tienen bastante importancia y son usados frecuentemente, sobre todo en la agricultura y la ecológica, cosa que mejora la calidad

y producción de las plantas (Probelte - Los fitorreguladores y el crecimiento de las plantas, 2020). Este ácido en concentraciones bajas puede ser explotado beneficiosamente para controlar el desarrollo de las plantas (Díaz et al., 2013).

El ácido giberélico es parte de las giberelinas y es el único que es de uso comercial, este es sintetizado en varias partes de la planta, sobre todo en partes que están encargadas del crecimiento (Mandujano et al.2007).

Este ácido de origen vegetal es caracterizado por sus efectos fisiológicos y morfológicos. Su impacto más claro se basa en acelerar el crecimiento vegetativo. Dicho efecto se debería primordialmente a la elongación de las células empero; en algunas ocasiones, la multiplicación celular también se ve incrementada. Estimula la floración, aumenta la fructificación y acelera la germinación de algunas semillas. (*Portal TecnoAgrícola*, 2021)

Capsicum annuum: esta planta es una hortaliza originaria de Bolivia, Perú, el sur de México y Colombia, tiene propiedades anticancerígenas y analgésicas y tarda de 6 a 10 días en germinar. Esta especie de planta crece en climas templados y cálidos, y resisten épocas de sequía y alta nubosidad; entre las condiciones óptimas para su cultivo se encuentra una temperatura de 18 a 24° C, una precipitación anual entre 600 y 1.250 mm y una humedad relativa entre 70 y 90%. En Colombia los cultivos se encuentran desde el nivel del mar hasta 1.600 m.s.n.m.

Según Villachica (1996), la Amazonía presenta condiciones favorables para la producción continua de ají durante el año, lo que podría servir para abastecer el mercado de los países con inviernos prolongados.

La planta *Capsicum annuum* es una planta herbácea y su cultivo es generalmente anual, su tallo es normalmente de 2 metros o más y tiene ramificaciones dicotómicas, las semillas son reniformes aplastadas, de color marrón claro y son levemente pubescentes (*Capsicum annuum* |

Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas, 2012). También se caracteriza por poseer una raíz corta bastante ramificada, que puede llegar a extenderse hasta 1.20 m de diámetro. El porcentaje de germinación de esta planta es alto normalmente entre 95-98% (Fundación de desarrollo agropecuario, n.d)

Esta planta posee un límite crítico de 6 horas de luz diarias y el fotoperiodo óptimo es de 12 a 15 horas. Cuando las condiciones de fototemperatura son bajas, esta se beneficia de fotoperiodos largos, en general el crecimiento es favorecido por la alternancia entre foto y nicto temperatura de 26/20°C. con temperaturas inferiores a 15°C o mayores a 35°C. la fructificación es nula. (Capsicum annum | Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas, 2012)

Tabla 1

Taxonomía de la Planta Capsicum Annuum

Nombre científico	Capsicum annum L.
Nombre vulgar	pimiento, ají, morrón
Dominio	Eucariota
Reino	Viridiplantae
Phylum	Espermatofita
Subphylum	Angiospermae
Clase	Dicotyledonae
Orden	Solanales
Familia	Solanáceas

(Capsicum annum | Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas, 2012)

Capítulo 2/ Metodología

2.1. Pregunta de investigación:

¿En qué medida las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) afectan el proceso de germinación de la semilla de la planta de ají *Capsicum annuum*?

2.2. Hipótesis:

H₀: La tasa de germinación de la semilla *Capsicum annuum* es independiente de las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$).

H₁: La tasa de germinación de la semilla *Capsicum annuum* depende de las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$).

2.3. Variables:

Las variables identificadas dentro del experimento fueron:

- **Dependiente:** número de semillas de *Capsicum annuum* germinadas por cada solución preparada.
- **Independiente:** diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$)
- **Controladas:**
 - **Ácido giberélico:** se midió los gramos necesarios para la preparación de la solución, según el resultado obtenido con la fórmula matemática de concentración de ppm
 - **Cantidad de agua:** se midió con una probeta 100 ml para cada concentración
 - **Cantidad de concentración de ácido giberélico:** se midió con una jeringa 10 ml cada 48 horas para regar las semillas

- **Cantidad de semillas por caja de Petri:** Se colocaron 20 semillas por caja de Petri
- **Luz:** todas las cajas de Petri con las semillas se ubicaron en el mismo lugar para que obtuvieran la misma cantidad de luz necesaria para las condiciones óptimas de germinación.
- **Temperatura:** la temperatura fue constante gracias al aire acondicionado (20 grados centígrados)
- **Tiempo:** Todas las semillas tuvieron el mismo tiempo para observar la germinación y el efecto del ácido giberélico sobre ellas
- **Algodón:** Se utilizó 1 gramo de algodón en todas las cajas de Petri.

2.4. Materiales

- Balanza digital (g) $\pm 0,01$ g
- 1400 semillas de *Capsicum annum*
- 7 litros de agua
- Probeta 100 ml $\pm 0,50$ ml
- Beaker 800 ml $\pm 3,3$ ml
- 140 g de ácido giberélico (C₁₉H₂₂O₆)
- 70 cajas de Petri
- 70 g de algodón
- 7 jeringas de 10ml
- 7 frascos transparentes con capacidad de 1 litro
- Espátula
- Alcohol etílico al 95%

2.5. Procedimiento:

1. Como primer paso se dispuso la mesa de trabajo previamente con los materiales requeridos para la realización del experimento. Seguidamente se esterilizó cada uno de los materiales con un agente desinfectante. (alcohol).
2. Luego se seleccionó las semillas maduras. Para esto se dejaron remojar en agua alrededor de 12 horas en un lugar con ausencia de luz. Pasadas las 12 horas se desecharon las semillas que flotaron en el agua ya que esto significa que no fueron fecundadas y por lo tanto no son viables y se usaron las que permanecieron en el fondo. Se retiraron del agua y se dejó las semillas en papel absorbente por 5 minutos para quitar el exceso de humedad. (Hydro Environment, 2022). Se preparó soluciones de ácido giberélico (C₁₉H₂₂O₆) a diferentes concentraciones de 100ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm, 300 ppm y 400 ppm, para calcular cuántos gramos de ácido giberélico se debía agregar en un litro de agua, se realizó la siguiente fórmula matemática.

Los resultados fueron:

$$0,100ppm = \frac{g}{1 \text{ litro}}$$

$$0,100ppm \times 1 \text{ litro} = g$$

$$0,10 = g$$

$$0,150ppm = \frac{g}{1 \text{ litro}}$$

$$0,150ppm \times 1 \text{ litro} = g$$

$$0,15 = g$$

$$0,200ppm = \frac{g}{1 \text{ litro}}$$

$$0,200ppm \times 1 \text{ litro} = g$$

$$0,20 = g$$

$$0,250ppm = \frac{g}{1 \text{ litro}}$$

$$0,250ppm \times 1 \text{ litro} = g$$

$$0,25 = g$$

$$0,300ppm = \frac{g}{1 \text{ litro}}$$

$$0,300ppm \times 1 \text{ litro} = g$$

$$0,30 = g$$

$$0,400ppm = \frac{g}{1 \text{ litro}}$$

$$0,400ppm \times 1 \text{ litro} = g$$

$$0,40 = g$$

3. Para preparar las soluciones se midió la masa del ácido giberélico según los resultados obtenidos en las fórmulas mostradas anteriormente y se disolvió en 10 ml de alcohol al 95% debido a que este era poco soluble en agua, posteriormente se añadió la mezcla de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) con alcohol a la probeta para así medir 1 litro de agua para cada concentración.

4. Las soluciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) se embazaron en frascos transparentes y herméticos rotulados con las diferentes concentraciones.
5. Posteriormente, se preparó las cajas de Petri, para esto se colocó 1 gramo de algodón cubriendo así toda la caja de Petri, este proceso se repitió 10 veces para cada concentración.
6. Se halló la masa de las semillas con la balanza y se promedió este valor. Siendo el resultado promedio de la masa de las semillas 0,0095g
7. Se colocó 20 semillas de *Capsicum annuum* en cada caja de Petri, donde tuvieron las mismas condiciones.
8. Para continuar con la experimentación se regó cada 48 horas las semillas contenidas en cada caja de Petri; para ello se utilizó una jeringa que contenía 10 ml de la solución preparada con las diferentes concentraciones. A cada semilla de las cajas de Petri se le adicionó 0,5 ml de la concentración de ácido giberélico por un periodo de 10 días cada 48 horas.

2.6 Normas de seguridad

Durante el experimento se tuvo en cuenta el uso de pantalón largo, bata y zapatos cerrados. También se realizó en el laboratorio del colegio que cuenta con lavamanos en caso de que el ácido llegara a tocar la piel y hubo un profesor de biología supervisando.

Debido a la pandemia del COVID-19 se implementaron medidas de bioseguridad, siendo el uso del tapabocas, el lavado de manos constante, la desinfección del área de trabajo y la distancia de 1 metro entre las personas, prácticas recurrentes durante la fase experimental de la investigación. Cabe resaltar que durante la fase experimental se contó con la asesoría de un tutor.

Capítulo 3 /Análisis y resultados

3.1 Datos brutos

Tabla 2: Número de semillas de *Capsicum annuum* germinadas por días influenciadas con diferentes concentraciones de ácido giberélico (C₁₉H₂₂O₆).

	Días									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Número de semillas germinadas de la planta <i>Capsicum annuum</i> con ácido giberélico									
Intentos	0 PPM									
1	0	0	0	0	10	0	3	4	2	0
2	0	0	0	0	5	1	4	7	3	0
3	0	0	0	0	6	7	2	0	5	0
4	0	0	0	0	10	6	0	2	2	0
5	0	0	0	0	4	4	4	3	5	0
6	0	0	0	0	17	2	1	0	0	0
7	0	0	0	0	9	9	0	2	0	0
8	0	0	0	0	10	3	0	4	3	0
9	0	0	0	0	5	1	0	6	4	0
10	0	0	0	0	12	6	0	0	0	0
	100 PPM									
1	0	0	0	0	6	8	1	4	0	1
2	0	0	0	0	5	6	0	7	2	0

3	0	0	0	0	9	7	4	0	0	0
4	0	0	0	0	1	3	1	6	2	0
5	0	0	0	0	2	1	0	3	0	0
6	0	0	0	0	4		2	8	2	0
7	0	0	0	0	3	5	5	3	1	0
8	0	0	0	0	5	4	2	3	2	0
9	0	0	0	0	6	7	3	4	0	0
10	0	0	0	0	1	5	0	2	2	0

150 PPM

1	0	0	0	0	4	12	1	3	0	0
2	0	0	0	0	3	10	1	4	1	1
3	0	0	0	0	1	2	1	7	7	0
4	0	0	0	0	3	4	1	9	2	0
5	0	0	0	0	4	2	2	1	2	1
6	0	0	0	0	1	6	0	2	1	0
7	0	0	0	0	5	4	1	4	0	0
8	0	0	0	0	3	10	4	3	0	0
9	0	0	0	0	2	4	2	3	1	0
10	0	0	0	0	1	3	3	2	2	0

200 PPM

1	0	0	0	0	4	5	3	5	0	0
2	0	0	0	0	3	7	2	1	2	0

3	0	0	0	0	1	6	0	6	2	0
4	0	0	0	0	4	3	0	4	2	0
5	0	0	0	0	2	6	3	6	2	0
6	0	0	0	0	2	6	2	4	2	2
7	0	0	0	0	1	5	3	6	3	0
8	0	0	0	0	4	6	0	7	3	0
9	0	0	0	0	0	7	2	2	3	1
10	0	0	0	0	1	9	0	1	1	0

250 PPM

1	0	0	0	0	1	6	4	5	3	1
2	0	0	0	0	10	3	2	3	2	0
3	0	0	0	0	7	9	0	2	2	0
4	0	0	0	0	2	1	3	7	4	0
5	0	0	0	0	6	7	1	1	5	0
6	0	0	0	0	7	8	1	1	3	0
7	0	0	0	0	5	4	2	5	3	0
8	0	0	0	0	6	9	0	5	0	0
9	0	0	0	0	9	7	2	0	2	0
10	0	0	0	0	7	9	2	1	1	0

300 PPM

1	0	0	1	10	5	3	1	0	0	0
2	0	0	3	8	4	4	1	0	0	0

3	0	0	0	9	11	0	0	0	0	0
4	0	0	2	10	2	6	0	0	0	0
5	0	0	0	6	6	3	2	0	0	0
6	0	0	1	5	8	3	2	0	0	0
7	0	0	0	7	7	4	0	0	0	0
8	0	0	2	10	3	3	0	0	0	0
9	0	0	1	8	7	2	0	0	0	0
10	0	0	1	6	4	1	0	0	0	0

400 PPM

1	0	0	1	5	4	6	4	0	0	0
2	0	0	2	7	2	4	3	2	0	0
3	0	0	0	2	12	1	5	0	0	0
4	0	0	0	5	3	5	7	0	0	0
5	0	0	2	7	6	2	3	0	0	0
6	0	0	1	9	7	2	0	1	0	0
7	0	0	4	2	6	2	1	0	0	0
8	0	0	1	4	5	1	0	0	0	0
9	0	0	2	7	2	3	4	0	0	0
10	0	0	2	7	3	3	0	0	0	0

Fuentes: Autor, 2022

Observaciones:

En la tabla anexada se puede identificar los resultados de la fase experimental, en esta se encuentran el número de semillas de *Capsicum annuum* germinadas por días, con las diferentes concentraciones. Desde la concentración 0 hasta la concentración de 250 ppm; las semillas germinaron a partir del día 5 y germinaron hasta el día 10. En la concentración de 300 ppm y 400 ppm las semillas empezaron el proceso de germinación en el día 3.

3.2 Datos procesados

Tabla 3: porcentaje de germinación de cada concentración de las semillas de *Capsicum annuum* y coeficiente de correlación.

Concentración	Porcentaje de germinación
0	96,05
100	80,00
150	78,00
200	81,00
250	98,00
300	91,00
400	89,50
Coeficiente de correlación	0,109

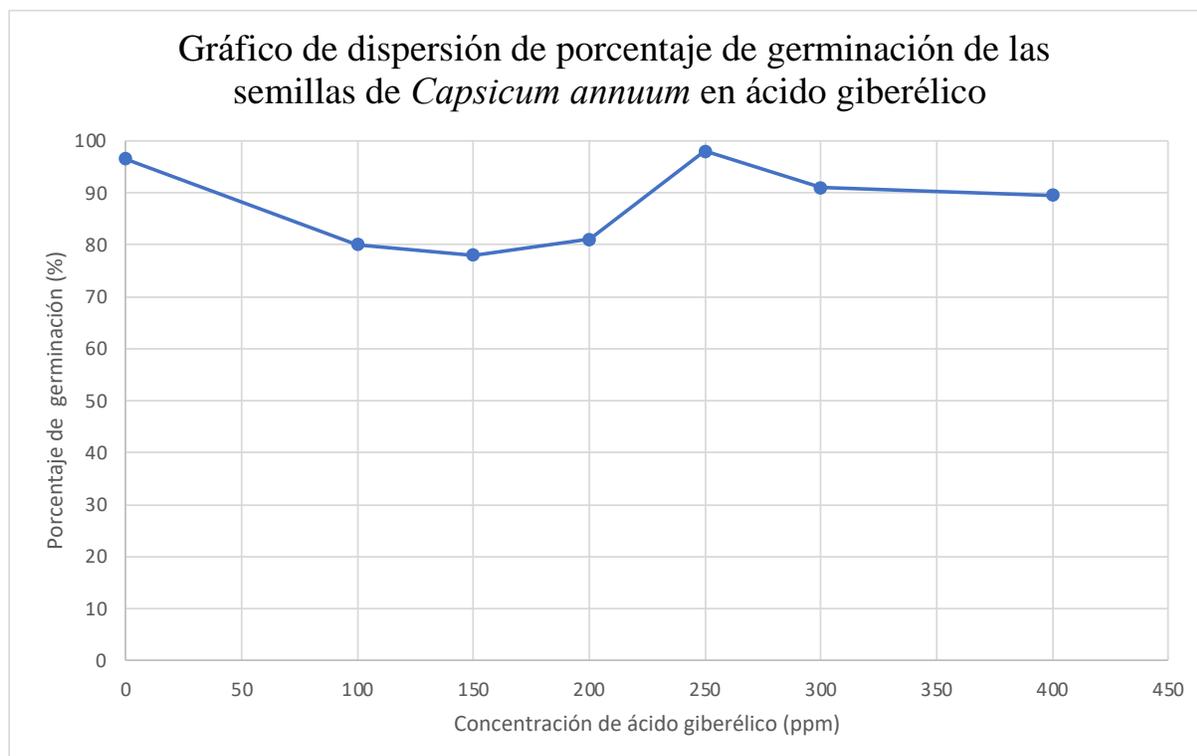
Fuentes: Autor, 2022

Observaciones:

El coeficiente de correlación da un resultado muy bajo por lo que se puede decir que no hay una relación de a mayor concentración mayor es la germinación de las semillas. Esto también se ve reflejado en los porcentajes de germinación.

3.3 Gráficos

Gráfico 1: Gráfico de dispersión de porcentaje de germinación de las semillas de *capsicumm annuum* en ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$)



Fuentes: Autor, 2022

Observaciones:

En la gráfica se muestra los porcentajes de germinación de las semillas de *Capsicum annuum* y las concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) al (0 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm, 300 ppm y 400 ppm) con las que fueron regadas las semillas durante 10 días. El eje y indica los porcentajes de germinación (%), es decir la variable dependiente y el eje x las concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) en unidades de (ppm), representando la variable independiente. Se observa que las mejores concentraciones fueron 0 con 96,5% y 250 con 98%.

3.4 Prueba estadística

H₀: La tasa de germinación de la semilla *Capsicum annuum* es independiente de las diferentes concentraciones de ácido giberélico (C₁₉H₂₂O₆).

H₁: La tasa de germinación de la semilla *Capsicum annuum* depende de las diferentes concentraciones de ácido giberélico (C₁₉H₂₂O₆).

Para comprobar la hipótesis **H₁**: “La tasa de germinación de la semilla *Capsicum annuum* depende de las diferentes concentraciones de ácido giberélico (C₁₉H₂₂O₆)” se realizó una prueba de Chi- cuadrado en la que se contrastan las frecuencias esperadas con las frecuencias observadas.

Tabla 4: Tabla con los resultados de cantidad de semillas germinadas y no germinadas de la semilla de *Capsicum annuum* según la concentración de ácido giberélico (C₁₉H₂₂O₆)

Concentración Resultado	0	100	150	200	250	300	400	Totales
Germinó	193	160	156	162	196	182	179	1228
No germinó	7	40	44	38	4	18	21	172
Totales	200	200	200	200	200	200	200	1400

Fuentes: Autor, 2022

3.4.1 Cálculo de proporción

$$P_{germinadas} = \frac{1228}{1400} = 0,877$$

$$P_{no germinadas} = \frac{172}{1400} = 0,123$$

3.4.2 Cálculo de frecuencias esperadas

$$E_{germinadas} = 200 \times 0,877 = 175,429$$

$$E_{no germinadas} = 200 \times 0,123 = 24,571$$

Tabla 5: Tabla con los resultados de las frecuencias esperadas

Concentración Resultado	0	100	150	200	250	300	400
Germinó	175,429	175,429	175,429	175,429	175,429	175,429	175,429
No germinó	24,571	24,571	24,571	24,571	24,571	24,571	24,571

Fuentes: Autor, 2022

3.4.3 Grados de libertad

$$\text{grados de libertad} = (2 - 1)(7 - 1)$$

$$\text{grados de libertad} = (1)(6)$$

$$\text{grados de libertad} = 6$$

3.4.4 Obtención de X^2 tabla con $\nu = 6, p = 0,0$

$$x^2_{\text{tabla}} = 12,5916$$

3.4.5 X^2 prueba

$$\begin{aligned} x^2_{\text{prueba}} = & \frac{(193 - 175,429)^2}{175,429} + \frac{(160 - 175,429)^2}{175,429} + \frac{(156 - 175,429)^2}{175,429} \\ & + \frac{(162 - 175,429)^2}{175,429} + \frac{(196 - 175,429)^2}{175,429} + \frac{(182 - 175,429)^2}{175,429} \\ & + \frac{(179 - 175,429)^2}{175,429} + \frac{(7 - 24,571)^2}{24,571} + \frac{(40 - 24,571)^2}{24,571} \\ & + \frac{(44 - 24,571)^2}{24,571} + \frac{(38 - 24,571)^2}{24,571} + \frac{(4 - 24,571)^2}{24,571} \\ & + \frac{(18 - 24,571)^2}{24,571} + \frac{(21 - 24,571)^2}{24,571} \end{aligned}$$

$$x^2_{\text{prueba}} = 73,482$$

Observaciones:

El valor de la Prueba Chi- cuadrado es 73,482 número mayor a 0,05, por lo que se acepta la H1, la tasa de germinación de la semilla *Capsicum annum* depende de las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) y se rechaza H0, la tasa de germinación de la semilla *Capsicum annum* es independiente de las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$)

Conclusiones

En esta investigación se estudió la influencia de diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) en la germinación de la planta *Capsicum annuum* partiendo de la pregunta planteada: **¿En qué medida las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) afectan el proceso de germinación de la semilla de la planta de ají *Capsicum annuum*?**

Dado que $\chi^2_{tabla} < \chi^2_{prueba}$ se concluye que las germinaciones de las semillas de *Capsicum annuum* dependen de las concentraciones de ácido giberélico aplicadas; por lo que se puede afirmar que fue aceptada H_1 : la tasa de germinación de la semilla *Capsicum annuum* depende de las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) y se rechaza H_0 , la tasa de germinación de la semilla *Capsicum annuum* es independiente de las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$).

Los resultados de la prueba Chi cuadrado permitieron evidenciar que las diferentes concentraciones de ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) influyen en el porcentaje de germinación de la semilla. Pero no todas las concentraciones tienen una influencia positiva en comparación a el grupo control, Cabe aclarar que el mejor porcentaje de germinación se dio en 250 ppm con un 98% de germinación de las semillas de *Capsicum annuum*, lo cual se ve comprobado por el coeficiente de correlación que indica que no existe una relación directa o inversamente proporcional en el comportamiento de los datos; a partir de esto se puede inferir que posiblemente la semilla trabaja con un rango específico de concentración de ácido giberélico para estimular su germinación.

Al analizar la tabla de datos se puede concluir que todas las concentraciones tuvieron un porcentaje de germinación mayor al 77%. En cuanto a los tiempos de germinación, las concentraciones de 300 ppm y 400 ppm iniciaron este proceso antes, es decir al tercer día, mientras

que con el resto de las concentraciones las semillas empezaron a germinar a partir del quinto día. Independientemente de los tiempos en que se inició la germinación, los mejores resultados fueron 250 ppm y 0 ppm.

En conclusión, se puede decir que el ácido giberélico sí afecta la germinación de las semillas de *Capsicum annuum*, teniendo en cuenta que los resultados varían dependiendo de la concentración que se esté utilizando y el tipo de semilla. Para futuras investigaciones sería interesante experimentar con concentraciones de ácido giberélico en el rango de 250 ppm a 280 ppm para poder determinar específicamente la dependencia de la germinación de las semillas de *Capsicum annuum* con el ácido giberélico o comprobar su afectación en el crecimiento u obtención de frutos de dicha planta.

Referencias

Capsicum annuum / Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas. (2012).

<https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/capsicum-annuum>

Campos Ruíz, J., Cerna Rebaza de Chico, L., & Chico Ruíz, J. (2014). Efecto del ácido giberélico, nitrato de potasio y agua de coco en la germinación de semillas de quina, *Cinchona pubescens*. *Revista REBIOLEST*.

<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/view/637>

De La Cuadra, C. (n.d). *Germinacion, latencia y dormicion de las semillas*.

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1992_03.pdf

De La Rosa, Arce, L., Villarreal, J., Ibarra, L., Lozano, J., & Fundacion, R. (2012). *Germinación de semillas de chile simojovel (Capsicum annuum L.) previamente expuestas a NaCl y ácido giberélico*. http://revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol81/23-DE_LA_ROSA.pdf

Díaz, L. E., Henao, A., & Ramírez, L. A. (2013). *RESIDUO AGRÍCOLA DE CEBOLLA LARGA COMO FUENTE DE ÁCIDO GIBERÉLICO*. Udca.edu.co.

<https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/download/909/1092?inline=1>

Escalante, J. L. (2018, Noviembre 2). *Ají: propiedades, beneficios y valor nutricional*. La Vanguardia; La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20181102/452669986733/aji-propiedades-beneficios-valor-nutricional.html>

Escaso Santos, F., Martínez Guitarte, J.L., Planelló Carro, M del Rosario., (2010).

Fundamentos básicos de la fisiología vegetal y animal. Pearson

García Federico, A., José Montes Hernández, S., Rangel Lucio, J. A., García Moya, E., & Mendoza Elos, M. (2010). Respuesta fisiológica de la semilla chile piquín [*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill] al ácido giberélico e hidrotermia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000200007

González, M. L., Caycedo, C., Velásquez, M. F., Flórez, V., & Garzón, M. R. (2007). *Efecto de La Aplicación Del Ácido Giberélico Sobre El Crecimiento De FROLÀRU Brassica Oleraceae L.) Var. Botrytis DC.*

<http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n1/v25n1a07.pdf>

Hydro Environment. (2022). *Preparación de semillas para germinación*. Hydroenv.com.mx.

https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=42

López Calle, Zulmy Mariel. (2018). Efecto de concentración de ácido giberélico en la germinación y crecimiento de plántulas de Papaya (*Carica papaya* L.), bajo condiciones de vivero. *Unp.edu.pe*. <https://doi.org/http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1290>

Mandujano, M. C., Golubov, J., Rojas-Aréchiga, M. *Efecto Del Ácido Giberélico En La Germinación de Tres Especies Del Género Opuntia (Cactaceae) Del Desierto Chihuahuense*. (2007).

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/30783975/cactaceas2007_2arti_2-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1647199761&Signature=ec98stniMzTg9T3NKZNuirO4KWfJiplmRn5eJInd~nvHP8MkGR70oxv1dOd-GzUIO03JbESs~dipLo4gUwAzt72B2ddkqov-

n4~wUmUASax65ttMekb5N8VMZMXrYFcWCx5qM5aGxvaJuV29J-
 pZMOAvJWVq9fLYyAukwkg~iwVYVoBpBE17TiUdvtgT-
 L~~dfbJXGvgMhTX3GNN0mcQWGmyvIU4khmNHKIT89tuWEdntMUoZFT3LUhe2~
 qRqjhM-HdrT3m0NF~~bWpTNBsLs-FIRBCFoxuIjYj~tUieRX2x6q-
 YwsRpv7FDpQ7zdf5IkVzQCnS2LJsd7JH1yzDIw__&Key-Pair-
 Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Méndez, M. A., Ligarreto, G. A., Hernández, M. S., & Melgarejo, L. M. (2004). Evaluación del crecimiento y determinación de índices de cosecha en frutos de cuatro materiales de ají (*Capsicum* sp.) cultivados en la Amazonía colombiana..
<https://www.redalyc.org/pdf/1803/180317823002.pdf>

Pita, J. M., Perez Garcia, F. (n.d.). *Germinación de semillas*.

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf

Portal TecnoAgrícola. (2021). Portalteconoagricola.com.

<https://www.buscador.portalteconoagricola.com/vademecum/mex/producto-tecnico/17659/%C3%81CIDO%20GIBER%C3%89LICO>

Probelte -*Los fitorreguladores y el crecimiento de las plantas*. (2020, Octubre 28). Probelte - Sanidad Vegetal. <https://probelte.com/es/noticias/los-fitorreguladores-y-el-crecimiento-de-las-plantas/>

- Saldívar-Iglesias, P., Laguna-Cerda, A., Gutiérrez-Rodríguez, F., & Domínguez-Galindo, M. (2010). ácido giberélico en la Germinación de semillas de Jaltomata procumbens (Cav.) J. L. Gentry. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v21n2/a12v21n2.pdf>
- TecnicoAgricola. (2012, Septiembre 24). *Ácido Giberélico* – www.tecnicoagricola.es.
Tecnicoagricola.es. <https://www.tecnicoagricola.es/acido-giberelico/>
- Vásquez, W., Pupiales, P., Viteri, P., Sotomayor, A., Feican, C., Campaña, D., Viera, W. (2019),. *Escarificación Química Y Aplicación De Ácido Giberélico Para La Germinación De Semillas De Cultivares De Mora (Rubus Glaucus Benth)*”.
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/339/33958848009/33958848009.pdf>

Anexos

