

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SEMILLAS Y GERMINACIÓN DE PLÁNTULAS DE  
*Agave* EN DIFERENTES SUSTRATOS**

TESIS QUE PRESENTA

Maritza Monserrat Díaz Santiago

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR

Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco

---

Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca.  
Agosto de 2022.





Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SEMILLAS Y GERMINACIÓN DE  
PLÁNTULAS DE *Agave* EN DIFERENTES SUSTRATOS**

TESIS QUE PRESENTA

Maritza Monserrat Díaz Santiago

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR

Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco

---

Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca

Agosto de 2022



La presente tesis titulada **“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SEMILLAS Y GERMINACIÓN DE PLÁNTULAS DE *Agave* EN DIFERENTES SUSTRATOS”** realizada bajo la dirección del Consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR

DR. VICENTE ARTURO VELASCO VELASCO



ASESOR

DR. JOSÉ RAYMUNDO ENRÍQUEZ DEL VALLE



ASESORA

M.C. JUDITH RUIZ LUNA



Ex-Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, Agosto de 2022

	<b>Nombre de la Información Documentada:</b> <b>Formato Autorización de DEPI para entrega de Tesis.</b>	<b>Código: ITVO-AC-PR-08-03</b>
	<b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2</b>	<b>Revisión: 1</b>
		<b>Página 1 de 1</b>

Nazareno Xoxocotlan, Oaxaca, **29/Junio/2022**

**OFICIO No. DEPI/0530/2022**

**C. MARITZA MONSERRAT DIAZ SANTIAGO  
 ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS  
 EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS  
 P R E S E N T E**

Con base en los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, respecto a la presentación del examen de grado, me es muy grato comunicarle que esta División de Estudios de Posgrado e Investigación a mi cargo, **AUTORIZA** la entrega del documento final de su tesis en formato digital (PDF) titulada: **“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SEMILLAS Y GERMINACIÓN DE PLÁNTULAS DE *Agave* EN DIFERENTES SUSTRATOS”**.

Cuyo contenido ha sido revisado y aprobado por su Comité Tutorial y cumple en lo general con el formato establecido para este documento, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas.

Sin más por el momento le felicito cordialmente por el logro de esta meta y le reitero el respaldo institucional de su Alma Mater.

**ATENTAMENTE**  
**“Ciencia y Tecnología para el Campo”**

  
**DR. YURI VILLEGAS APARICIO**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS**  
**DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE**  
**POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo se llevó a cabo con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través del número de becario 1082204 y con el financiamiento del tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca con el proyecto “**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SEMILLAS Y GERMINACIÓN DE PLÁNTULAS DE *Agave* EN DIFERENTES SUSTRATOS**”, Clave 15344.22-P.

## DEDICATORIA

**A mis padres**, al Sr. Javier Díaz López y la Sra. María Agustina Santiago Vásquez agradezco la dicha y el don de haberme dado vida, de quienes me siento orgullosa y que en todo momento me impulsaron en mi preparación académica, además de enseñarme siempre sus mejores valores como personas y padres que son.

Gracias de todo corazón por todo su apoyo, orientación y consejos que me regalaron y que a pesar de las dificultades que se presentaron durante toda mi carrera ustedes siempre estuvieron y están aún conmigo, sé que compartiré este momento de felicidad con ustedes, una oportunidad más que Dios me ha dado en la vida, finalizando así con éxito mi carrera profesional.

**A mis hermanos**, Mercedes, Javier, Santiago que están y siempre seguirán estando a mi lado brindándome su apoyo, que es una gran motivación para cumplir con la culminación de mi carrera profesional, gracias hermanos por estar conmigo y dejarme ser partícipe de tantos momentos felices que hemos pasado juntos y seguiremos pasando juntos, los quiero mucho.

**A mis familiares** mi bisabuela Lidia López, mi abuela Inés, a mis tíos les agradezco infinitamente su apoyo y amor incondicional porque son mi fuente de inspiración para seguir adelante, son mi ejemplo a seguir, mi orgullo, gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Instituto Tecnológico del valle de Oaxaca perteneciente al Tecnológico Nacional de México por abrirme sus puertas para formarme académicamente y convertirme en una Maestra en Ciencias.

A mis asesores de tesis al DR. Vicente Arturo Velasco Velasco, DR. Jose Raymundo Enríquez del valle y a la M.C. Judith Ruiz Luna docentes del ITVO por nunca abandonar su labor y estar siempre que se les necesito, de igual forma por su aportar su conocimiento durante mi formación académica.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTOS.....	
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.1.1 Objetivos específicos.....	2
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Tipos de propagación de <i>Agaves</i> .....	3
2.2 Importancia del <i>Agave</i> .....	4
2.3 Taxonomía y fisiología de género <i>agave</i> .....	5
2.4 <i>Agave karwinskii</i> Zucc.....	6
2.5 <i>Agave marmorata</i> Roezl.....	7
2.6 <i>Agave potatorum</i> Zucc.....	8
2.7 <i>Agave rhodacantha</i> Trel.....	8
2.8 Características de las semillas.....	9
2.8.1 Semillas frescas.....	11
2.8.2 Semillas latentes.....	11
2.8.3 Calidad de las semillas.....	12
2.9 Humedad.....	13
2.10 Características físicas del sustrato.....	13
2.11 Características de la clorofila <i>a</i> , <i>b</i> y totales.....	15

CAPÍTULO III CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y BROTAÇÃO DE SEMILLAS DE Agaves MEZCALEROS.....	18
RESUMEN.....	18
SUMMARY.....	19
INTRODUCCIÓN.....	20
MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
Ubicación geográfica del área de estudio.....	24
Material vegetal.....	24
Correlación de la longitud, peso y ancho de las semillas.....	24
Selección de semillas fértiles y no fértiles.....	24
Preparación de sustratos y semilleros.....	25
Diseño experimental y tratamientos.....	26
Variables de estudio y análisis estadísticos.....	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
Descripción de características de las semillas.....	27
Color de las semillas de <i>Agave</i> .....	31
Selección de semillas por flotación.....	32
Germinación de las semillas y emergencia de las plántulas.....	34
CONCLUSIONES.....	36
Agradecimientos.....	37
Funding.....	37
Conflic of interés.....	37
Compliance with ethical standars.....	37
Author contribution stantement (Credit) .....	37
REFERENCIAS.....	38
CAPÍTULO IV CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE AGAVES EN DIFERENTES MEZCLAS DE SUSTRATOS.....	46
RESUMEN.....	46
SUMMARY.....	47
4.1 INTRODUCCIÓN.....	48
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
4.2 Ubicación geográfica del área de estudio.....	49
4.2.2 Material vegetal.....	49
4.2.3 Diseño experimental.....	49
4.2.4 Siembra de plántulas.....	50
4.2.5 Variables evaluadas .....	50
4.2.6 Cuantificación de clorofila.....	50
4.3 Resultados y discusión.....	51
4.3.1 Características de las plántulas.....	51
4.3.2 Crecimiento de plántulas por factores.....	54

4.3.3 Crecimiento de plántulas por tratamiento.....	56
4.3.4 Cuantificación de clorofila.....	59
4.3.5 Cuantificación de clorofila por factores.....	61
4.3.6 Cuantificación de clorofila a, b y total por tratamiento.....	63
4.4 Conclusiones.....	66
4.5 Literatura citada.....	68
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES.....	71
CAPÍTULO V. LITERATURA GENERAL CITADA.....	73
CAPÍTULO VI ANEXOS.....	85

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
	CAPÍTULO III CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE <i>Agaves</i> MEZCALEROS	
1	Resumen de tres análisis de varianza para peso y dimensiones de las semillas de <i>Agave</i> .....	27
2	Coefficientes de correlación Pearson entre ancho, longitud y peso de 300 semillas por especie de <i>Agaves</i> .....	29
3	Cantidad y peso de semillas de <i>Agaves</i> .....	30
4	Semillas que flotaron y que se hundieron en el recipiente con agua.....	33
5	Análisis de varianza de la brotación de las plántulas de <i>agave</i> en función de los factores sustrato y especie.....	33
6	Análisis de mezclas de sustratos.....	35
	CAPÍTULO IV CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE <i>AGAVES</i> EN DIFERENTES MEZCLAS DE SUSTRATOS	
1	Significancia del análisis de varianza en <i>Agave rhodacantha</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.....	52
2	Significancia del análisis de varianza en <i>Agave potatorum</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.....	53
3	Significancia del análisis de varianza en <i>Agave Karwinskii</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva, a los 45 días después de aplicar los tratamientos.....	53
4	Crecimiento de <i>Agave rhodacantha</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.....	54
5	Crecimiento de <i>Agave potatorum</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.....	55
6	Crecimiento de <i>Agave karwinskii</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.....	55

7	Altura de plántula, número, ancho y longitud de hojas en <i>Agave rhodacantha</i> cultivadas en diferentes sustratos y que recibieron solución nutritiva durante 45 días.....	57
8	Altura de plántula, número, ancho y longitud de hojas en <i>Agave potatorum</i> cultivadas en diferentes sustratos y que recibieron solución nutritiva durante 45 días.....	58
9	Altura de plántula, número, ancho y longitud de hojas en <i>Agave karwinskii</i> cultivadas en diferentes sustratos y que recibieron solución nutritiva durante 45 días.....	59
10	Significancia del análisis de varianza en <i>Agave rhodacantha</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 74 días después de aplicar los tratamientos.....	60
11	Significancia del análisis de varianza en <i>Agave potatorum</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 74 días después de aplicar los tratamientos.....	60
12	Significancia del análisis de varianza en <i>Agave karwinskii</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.....	61
13	Cuantificación de clorofila a, b y total en <i>Agave rhodacantha</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 74 días después de aplicar los tratamientos.....	62
14	Cuantificación de clorofila a, b y total en <i>Agave potatorum</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 74 días después de aplicar los tratamientos.....	62
15	Cuantificación de clorofila a, b y total en <i>Agave karwinskii</i> en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 74 días después de aplicar los tratamientos.....	63
16	Clorofila a, b y totales en tejidos foliares de plantas de <i>Agave rhodacantha</i> que recibieron fertilización con solución nutritiva Steiner al 50% a los 74 días. ....	64
17	Clorofila a, b y totales en tejidos foliares de plantas de <i>Agave potatorum</i> que recibieron fertilización con solución nutritiva Steiner al 50% a los 74 días.....	64
18	Clorofila a, b y totales en tejidos foliares de plantas de <i>Agave karwinskii</i> que recibieron fertilización con solución nutritiva Steiner al 50% a los 74 días.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página.
	<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE <i>Agaves</i> MEZCALEROS</b>	
1	Longitud (mm), ancho (mm) y peso de semillas (mg) de <i>Agave rhodacantha</i> Trel., <i>A. karwinskii</i> Zucc., <i>A. marmorata</i> Roezl. y <i>A. potatorum</i> Zucc. Barras con la misma letra dentro de cada variable no son diferentes significativamente, Duncan ( $p \leq 0.05$ ) (Promedio de 300 semillas).....	29
2	Tamaño de las semillas de diferentes especies de <i>Agaves</i> a) <i>A. rhodacantha</i> Trel. b) <i>A. potatorum</i> Zucc c) <i>A. marmorata</i> Roezl.d) <i>A. karwinskii</i> Zucc. Cada cuadro pequeño mide 1.0 milímetro de ancho, por lo que una cuadro con línea gruesa mide 1.0 cm <sup>2</sup> .....	31
3	Semillas fértiles e infértiles de <i>Agaves</i> y color de acuerdo a la carta Munsell (2012).....	32
4	Porcentaje de semillas que germinaron y emergencia de las plántulas de <i>Agave</i> en función de los sustratos durante los 30 días después de la siembra de las semillas.	34
5	Porcentaje semillas que emergieron y emergencia de las plántulas de <i>Agave</i> en función de las especies a los 30 días después de la siembra.....	35

## INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Clorofilas a, b y totales a los 74 días de tratamiento en función de los sustratos. Barras con la misma letra dentro de cada tipo de clorofila no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$ ).....	85
2	Clorofilas a, b y totales a los 74 días de tratamiento en función de la fertilización con solución nutritiva. Barras con la misma letra dentro de cada tipo de clorofila no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$ ).....	86

## RESUMEN

Los *Agaves* han sido de gran importancia económica y cultural, ya que tienen diversos usos, destacando actualmente para la producción de mezcal. Para poder conservar la diversidad genética en los *Agaves* es indispensable la propagación por semillas. Su reproducción inicia desde la germinación de la semilla, el crecimiento de la planta en vivero, su establecimiento en campo hasta su cosecha. El objetivo del trabajo fue determinar las características de las semillas del *Agave potatorum* Zucc., *A. rhodacantha* Zucc., *A. karwinskii* Zucc., *A. marmorata* Roezl., y la germinación de éstas cuando se establecieron en diversos sustratos preparados con perlita, turba de musgo y arena en proporciones diferentes. El experimento se estableció de acuerdo al diseño experimental completamente aleatorio enmarcado en el factorial 3x4, esto es, tres sustratos y cuatro especies de *Agave*. Se cuantificó la longitud, el ancho y el peso de 300 semillas de cada especie, también se evaluó el porcentaje de germinación de semillas cuando se establecieron en los diferentes sustratos. Las semillas del *Agave rhodacantha* fueron las más grandes en longitud (9.49 mm) y ancho (7.43 mm), mientras que las semillas de *A. marmorata* fueron de mayor peso (5.2 mg/semilla). En un kg se tienen aproximadamente 105 mil, 200 mil, 250 mil y 260 mil semillas por especie en *potatorum*, *rhodacantha*, *karwinskii* y *marmorata*, respectivamente. De 1000 semillas negras que se colocaron en agua, entre el 47-60% se hundieron. Las semillas blancas o amarillas que se sembraron, ninguna germinó. En el sustrato de turba de musgo y arena en relación 3:2 ocurrió el mayor porcentaje de germinación de semillas y emergencia de plantas (33.92%). En un segundo experimento se evaluó el crecimiento de plántulas de *Agave rhodacantha*, *A. potatorum* Zucc. y *Agave karwinskii* Zucc. durante 135 días en diferentes mezclas de sustratos y mediante el suministro de la solución nutritiva Steiner, en las que se evaluó el número de hojas, de la hoja más grande de la planta se midió longitud (cm), ancho (cm) y altura (cm) desde la base del sustrato hasta el ápice; así como el contenido de clorofila en hojas. Las plantas con mayor crecimiento fueron las que se establecieron en el sustrato turba de musgo y arena y que se fertirrigaron.

**Palabras claves:** Semillas de Agaves, emergencia, fertilización, color de semillas, clorofila.

## SUMMARY

The Agaves have been of great economic and cultural importance, since they have various uses, currently standing out for the production of mezcal. In order to conserve genetic diversity in Agaves, propagation by seeds is essential. Its reproduction starts from the germination of the seed, the growth of the plant in the nursery, its establishment in the field until its harvest. The objective of the work was to determine the characteristics of the seeds of *Agave potatorum* Zucc., *A. rhodacantha* Zucc., *A. karwinskii* Zucc., *A. marmorata* Roezl., and their germination when they were established in various substrates prepared with perlite, peat moss and sand in different proportions. The experiment was established according to the completely randomized experimental design framed in the 3x4 factorial, that is, three substrates and four species of Agave. The length, width and weight of 300 seeds of each species were quantified, the percentage of seed germination was also evaluated when they were established in the different substrates. *Agave rhodacantha* seeds were the largest in length (9.49 mm) and width (7.43 mm), while *A. marmorata* seeds were heavier (5.2 mg/seed). In one kg there are approximately 105 thousand, 200 thousand, 250 thousand and 260 thousand seeds per species in *potatorum*, *rhodacantha*, *karwinskii* and *marmorata*, respectively. Of 1000 black seeds that were placed in water, between 47-60% sank. The white or yellow seeds that were sown, none germinated. The highest percentage of seed germination and plant emergence (33.92%) occurred in the peat moss and sand substrate in a 3:2 ratio. In a second experiment, the growth of *Agave rhodacantha* seedlings was evaluated. *A. potatorum* Zucc. and *Agave karwinskii* Zucc. for 135 days in different mixtures of substrates and by supplying the Steiner nutrient solution, in which the number of leaves was evaluated, of the largest leaf of the plant length (cm), width (cm) and height (cm) were measured. cm) from the base of the substrate to the apex; as well as the chlorophyll content in leaves. The plants with the highest growth were those that were established in the peat moss and sand substrate and that were fertigated.

**Keywords:** *Agave* seeds, emergence, fertilization, seed color, chlorophyll

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

En México existe el 75% de una gran diversidad de agaves, de las cuales el 57% son endémicas. Estas especies son perennes, monocárpicas, su tiempo de madurez sexual es entre cinco y veinticinco años o más, dependiendo de la especie y del ambiente en el que se desarrolla (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017). El estado de Oaxaca cuenta con 58 especies, 13 de las cuales son endémicas, y algunas de ellas se usan como para la elaboración de mezcal (García-Mendoza *et al.*, 2004). Su uso se diversifica en forma de barreras vivas para la conservación de los suelos en terrenos con pendientes (Ramos-Sánchez *et al.*, 2014). Debido al aumento de demanda por materia prima para la agroindustria, se requiere incrementar las actividades de propagación, desarrollo en vivero y el área de plantaciones (Jiménez-Valdés *et al.*, 2010).

Las plantas originadas por semilla son necesarias para mantener la estructura y dinámica de las poblaciones de agave, la ausencia de este tipo de reproducción disminuye la variabilidad genética (Ramírez *et al.*, 2011).

Se cuenta con escasa información sobre el porcentaje de germinación de semillas de Agaves silvestres, así como la definición de los componentes de los sustratos más adecuados que permitan obtener un buen crecimiento de las plántulas.

En el abastecimiento de nutrimentos para el cultivo de agave no existe suficiente información sobre los requerimientos para su óptimo crecimiento. Steiner (1984) elaboró una solución nutritiva universal para cultivos de hidroponía, pero que es factible usarla para abastecer los nutrimentos a diversas especies cultivadas en suelo.

## **1.1 Objetivo general**

Describir características de semillas de las especies *Agave potatorum* Zucc., *A. rhodacantha* Zucc., *A. karwinskii* Zucc., *A. marmorata* Roezl., la germinación de semillas, y emergencia y el crecimiento de las plántulas, en diferentes sustratos para definir aquel que permita obtener el mayor número de plántulas.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Evaluar la calidad de las semillas de *Agave*, y la emergencia de éstas cuando se establecen en diversos sustratos preparados con perlita, turba de musgo y arena en proporciones diferentes.
- Evaluar el crecimiento de plántulas de agaves en diferentes mezclas de sustratos mediante el suministro de solución nutritiva Steiner.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 Tipos de propagación de Agaves

En México se encuentra una diversidad de agaves, se cuenta con el 75% de las especies de este género, el 57 % son endémicas; son plantas vivaces, monocárpicas, la madurez sexual se lleva a cabo a partir de cinco y veinticinco años o más, dependiendo de la especie y del ambiente en el que se desarrolla (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017) solo se reproducen una vez en su vida (García-Mendoza, 2010; Ramírez-Tobías *et al.*, 2011).

La producción de plantas a partir de semillas se ha desestimado, porque aparentemente toma más tiempo para que la planta alcance su madurez, pero en ello nunca se toma en cuenta la edad de los hijuelos al momento de plantarse; sin embargo, con los materiales y facilidades disponibles en la actualidad es más fácil la producción masiva de plantas a partir de la semilla, los cuales al establecerse, sin interrumpir su crecimiento, podrían competir favorablemente en edad real a diferencia de la madurez con las plantas de hijuelos. La semilla de maguey es muy abundante y carece de latencia, presenta una alta viabilidad y su germinación es rápida y uniforme (Aguirre *et al.*, 2017; Peña-Valdivia *et al.*, 2006).

Sus semillas son lacrimiformes (Villanueva *et al.*, 2021) planas y de color negro brillante (Vázquez *et al.*, 2011). Los agaves también se reproducen asexualmente se lleva a cabo por hijuelos jóvenes derivados de rizoma es la forma natural y exitosa de multiplicación de plantas silvestres de *Agave* spp., así como en plantaciones comerciales donde esta práctica facilita el manejo agronómico (Arizaga y Ezcurra 2002; Portillo y Santacruz–Ruvalcaba, 2006).

El ciclo de vida de los magueyes es aproximadamente de 15 a 20 años, es el tiempo en el que tarda en formar el escapo floral y la planta muere luego de formar las semillas (Ramírez-Tobías *et al.*, 2011).

## **2.2 Importancia del Agave**

En México, los agaves han tenido una gran importancia económica y cultural en diferentes pueblos indígenas y mestizos, han sido aprovechados, considerados como especies clave en esas regiones (García-Mendoza, 2007). Se tienen registros del uso del agave que se ha utilizado como alimentación, bebida, medicina, combustible, ornato, fibras duras, textiles, abono, construcción, retención de suelo y principalmente en la producción de diferentes tipos de bebidas alcohólicas como el mezcal y el tequila (Biodiversidad mexicana, 2022). Los Agaves representan uno de los importantes recursos naturales desde el punto de vista económico, social y agroecológico en México, ya existen algunas especies de Agaves que se encuentran peligro de extinción (García-Herrera *et al.*, 2010).

De acuerdo con el Consejo Regulador del Mezcal (2018), la producción de esta bebida fue superior a los 5 millones de litros, 92.3 % producidos en Oaxaca, donde se generaron 19,000 empleos directos y más de 85,000 empleos indirectos lo cual ha permitido que disminuya la migración. La importancia de la industria del mezcal en la economía es sin duda significativa tanto en términos de su contribución al Producto Interno Bruto (PIB) manufacturero como en términos de generación de empleos (Ramales y Ortiz, 2009).

### **2.3 Taxonomía y fisiología del género agave**

El género agave fue ubicado en la familia Asparagaceae, subfamilia Agavoideae que incluye nueve géneros los cuales son *Agave*, *Beschorneria*, *Furcraea*, *Hesperaloe*, *Hesperoyucca*, *Manfreda*, *Polianthes*, *Prochnyanthes* y *Yucca*, con 330 especies. El género agave es endémico de América, e incluye aproximadamente 210 especies, de las que 159 especies se encuentran presentes en México, y de éstas, 129 son endémicas del país (García-Mendoza, 2002; García-Mendoza, Franco-Martínez, 2019).

Los magueyes son plantas adaptadas a ambientes secos, tienen hojas suculentas, cutículas gruesas y realizan fotosíntesis tipo CAM. La suculencia y la cutícula gruesa permiten a los magueyes acumular el agua, así mantienen potenciales de agua elevados en sus tejidos, como ha sido constatado en otras suculentas (Andrade y Nobel, 1997). Tiene una apertura estomática nocturna, típica de la ruta fotosintética CAM, permite la absorción de dióxido de carbono cuando la pérdida de agua es poca (Nobel, 2011).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Asparagales

Familia: Agavaceae

Género: Agave

Las plantas suculentas, como las del agave, muestran una reserva de agua en sus hojas. La indisponibilidad que hay de humedad en el suelo mediante el aumento de raíces, es innecesaria incrementar la absorción, el agua que conservan al ser almacenada en sus hojas, raíces y tallos es una respuesta más eficiente. La conservación del agua de estas especies es el resultado de su morfología especializada y la presencia de una cutícula foliar impenetrable (Bobich y North, 2009).

La conservación del agua durante los periodos secos sucede por la contracción de las raíces, obstrucción y cavitación en forma de burbujas en los tejidos conductores, y la abscisión de las raíces absorbentes (Huang y Nobel, 1992; Lüttge, 2010).

#### **2.4 *Agave karwinskii* Zucc.**

Esta especie se le conoce con diferentes nombres dependiendo del lugar donde exista esta especie, *al-mal-bi-cuish* (chontal), *bicuixe*, *dob-cirial*, *madrecuixe*, *tobasiche* (zapoteco), *cachutum* (popoloca), barril, cirial (Biodiversidad mexicana

,2022). Esta especie es micro endémica su distribución limita en las zona áridas del Valle de Tehuacán, los Valles centrales de Oaxaca y Sierra Sur de Oaxaca, entre 750 y 2000 m de altitud. Ha sido aprovechada de manera intensiva, debido al auge en la producción de mezcal (Vázquez-Pérez *et al.*, 2020). Se caracteriza por ser una planta que crece en áreas de suelos calizos y poca lluvia, donde las colonias son formadas por hijuelos. Su tronco es utilizado para leña, como cerca viva en la delimitación de terrenos; también se extraen fibras de sus hojas. Es una especie con características muy variantes, su roseta mide de 1.5 m de alto, sus hojas son rectas y angostas, de color verde oscuro, sus espinas son pequeñas, su inflorescencia va desde los 3.5 m de alto, su floración es de junio a septiembre, se reproduce por semillas, hijuelos y bulbillos. Es necesario identificar sus subespecies, variedades o eco tipos (Biodiversidad mexicana, 2022).

México es una diversidad mezcalera en el género de los agaves, es una riqueza única que debe ser protegida con normas que sean consideradas en la gran variedad de mezcales artesanales así como la importancia que tiene cada una de ellas.

### **2.5 *Agave marmorata* Roezl.**

*Agave marmorata* Roezl (Tepextate) se caracteriza por ser una especie endémica de México. Su nombre común es conocido como “pitzometl” o “pichomel”, “huiscole” o “maguey curandero”. Hace referencia al uso medicinal que se da en las diferentes comunidades. Es una especie con rosetas largas, tallo corto, despliega de 30-50 hojas, 1.2 m de alto, 2 m de ancho, sus flores son

pequeñas de color amarillas de 48 mm de longitud. Sus espinas miden aproximadamente 1.5-3 cm (Gentry, 1982).

Se localiza en las selvas bajas y matorrales de la Sierra Madre del sur. Los colibríes disfrutan del néctar de sus flores, este alimento lo ofrecen las diferentes especies de agaves cuando florecen en la temporada seca. Así como los murciélagos y mariposas nocturnas depende de ellas. Comparten la interacción entre otras especies que florecen al mismo tiempo, existe la probabilidad de que algunos polinizadores mezclen el polen de diferentes especies, dando origen a otras plantas híbridas (CONABIO, 2016).

## **2.6 *Agave potatorum* Zucc.**

El nombre del *Agave potatorum* fue descrita por el científico Zuccarini en 1832, proporciono información de las características de las hojas, forma, tamaño de los dientes y la ramificación de la inflorescencia (Gentry, 1982), se le conoce con otros nombres en diferentes lugares donde existe esta especie *tóbala* (zapoteco), *papalometl* (náhuatl: magueymariposa), *yauiticushi* (mixteco), maguey de monte (Biodiversidad mexicana, 2022). Es un agave propio de las partes interiores y secas de la Sierra Madre del Sur, Valle de Tehuacán y Sierras de Oaxaca. Los murciélagos visitan sus flores otoñales, acarreado y mezclando el polen de poblaciones lejanas, ya que gracias al intercambio de polinización son genéticamente similares. A diferencia de otras especies no depende de las semillas para mantenerse, la mayor parte de la producción del mezcal *tóbala* depende de las poblaciones silvestres están son ubicadas en selvas bajas,

encinares que son muy distinguidas para este fin, se caracteriza por tener una roseta que va de 1 m de ancho a 70 cm de alto, sus hojas son ovaladas, de color verde a blancuzco, sus espinas son en forma de curva y oscuras, su inflorescencia es de 4 m de alto, florea en el mes de septiembre a diciembre, su reproducción es solo por semillas (CONABIO, 2006;Garcia-Mendoza, 2010).

### **2.7 *Agave rhodacantha* Trel.**

Esta especie crece en bosques de pino-encino y bosques secos, de 1000 y 2500 m de altitud. Del estado de Sonora a Oaxaca, esta planta se encuentra en el monte, en donde los suelos someros son ricos en materia orgánica aportando los nutrientes que se requieren para alcanzar su impresionante tamaño, se caracteriza por tener una roseta de 4 m de ancho y 2 m de alto, sus hojas son rectas y fibrosas con un color verde claro, sus espinas son pequeñas, su ramificación oscila los 9 m de alto, su floración es en los meses de mayo a agosto, su reproducción es por semillas e hijuelos (Biodiversidad mexicana, 2022).

### **2.8 Características de las semillas**

En varias especies cultivadas existen características diferentes sobre la importancia del tamaño, el peso de la semilla en la germinación y la formación de plántulas, lo cual también ocurre en las plantas silvestres como los agaves (Vázquez *et al.*, 2011). Las semillas se distinguen en su tolerancia a la deshidratación que sigue tras su diseminación. De acuerdo a ello, las semillas se pueden clasificar en ortodoxas, recalcitrantes e intermedias. Las semillas

ortodoxas toleran una deshidratación del 5% en el contenido de humedad; las semillas intermedias toleran la deshidratación entre 10% y 12,5% de humedad y recalcitrantes toleran la deshidratación entre 15% y 50% de humedad (Farrant *et al.*, 1993; Gentil, 2001).

La principal característica fisiológica de las semillas ortodoxas soportan la deshidratación y almacenas carbohidratos (Pukacka y Ratajczak, 2006). Su fase final de maduración es por la deshidratación celular, la cual inicia con la pérdida de agua del suministro vascular de la planta madre a la semilla, esto se lleva a cabo por la separación de funículos entre 40 y 50 días después de la polinización (Bewley y Black, 1994). En esta etapa las semillas adquieren la tolerancia para ceder a la deshidratación, por ello mejora su viabilidad y el potencial de almacenamiento (Nkang, 2002; Hoekstra *et al.*, 1994).

Las semillas recalcitrantes no experimentan deshidratación en la planta madre y sin detener su desarrollo pasan a la germinación (Farrant *et al.*, 1993), se degradan los ácidos grasos durante su almacenamiento (Magnitskiy y Plaza, 2007). La sensibilidad a la deshidratación y a temperaturas bajas implica limitaciones graves para el almacenamiento comercial a largo plazo de las semillas recalcitrantes (Floriano, 2004).

En general, la variación en la tolerancia a la deshidratación de semillas puede ser causada por las características intrínsecas de las plantas y condiciones ambientales. Las condiciones ópticas para el almacenamiento de las semillas a largo plazo son poco conocidas considerando que hay una alta variedad en las respuestas fisiológicas en semillas recalcitrantes una vez cosechadas (Fonseca

y Freire, 2003). Este conocimiento se requiere para la propagación sexual de especies en peligro de extinción o la reforestación de comunidades perturbadas. Además, las plántulas que logran establecerse escasas veces prosperan por falta de condiciones adecuadas para su incremento, primordialmente por poca humedad en el suelo y por efectos de herbívora o de patologías (Eguiarte *et al.*, 2000).

### 2.8.1 Semillas frescas

La Internacional Seed Testing Association (ISTA 1996), menciona que las semillas frescas son aquellas que han absorbido agua pero que están aletargadas y no han pasado de esta fase inicial de la germinación. ISTA (1996), menciona que son aquellas semillas que no han absorbido agua como consecuencia de la impermeabilidad de sus cubiertas. A su vez, Moreno (1996), menciona que son aquellas que permanecen duras hasta el final de la prueba de germinación, ya que no absorben agua porque tienen una cubierta impermeable.

### 2.8.2 Semillas latentes

Se les denomina así a las semillas viables diferentes de las semillas duras, pero que no germinan, aun cuando estén bajo las condiciones de germinación ideales que se especifican para dicha especie. La viabilidad de estas semillas se puede determinar con la prueba topográfica de sales de tetrazolio y su germinación se puede acelerar mediante escarificación y aplicación de sustancias promotoras de

la germinación. Las semillas muertas son aquellas semillas que no germinan y que no se les clasifique como latentes o duras, las cuales se les deberán ser consideradas como semillas muertas (Doria, 2010).

### 2.8.3 Calidad de las semillas

La calidad de las semillas disminuye con el transcurso del tiempo y la tasa de deterioro va a depender de las condiciones ambientales durante el tiempo de almacenamiento que permanecen almacenadas. Según Ferguson (1995) el primer componente de la calidad muestra señales de deterioro del vigor de las semillas, la reducción en la germinación, la producción de plántulas normales, y finalmente la muerte de las semillas. El vigor de las semillas se basa en el comportamiento físico o fisiológico de un lote de semillas, entre ellos los cambios en los procesos bioquímicos, la tasa y uniformidad de germinación, el crecimiento de las plántulas y la germinación o capacidad de emergencia de las semillas al ser expuestas a condiciones de estrés. La FAO (1985), reporta que las propiedades que determinan la calidad de la semilla son las propiedades internas (Pureza varietal “potencial genético”, carencia de enfermedades, alta germinación y vigor) y externas de las semillas (Pureza analítica, clasificación por tamaño, peso de 1000 granos o semillas, peso volumétrico y contenido de humedad).

## **2.9 Humedad**

La hidratación en agua es fundamental durante la germinación, para que la semilla recupere su metabolismo es necesaria la rehidratación de sus tejidos. El acceso de agua en el interior de la semilla se debe exclusivamente a una diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el medio que la rodea. En condiciones normales este potencial hídrico es menor en las semillas secas que están en el medio exterior. El agua es necesaria para la rehidratación de las semillas, un exceso de ella afectaría la germinación y dificultaría la llegada de oxígeno al embrión (Ramón y Mendoza, 2002).

## **2.10 Características físicas del sustrato**

Las características físicas del sustrato, intervienen en el crecimiento y el desarrollo de la planta, favoreciendo la calidad (Falcón *et al.*, 2019) y el rendimiento en un determinado cultivo (Bernal *et al.*, 2019). El sustrato se caracteriza por tener una aireación adecuada, filtración, retención y disponibilidad del agua que necesitan las plantas (Cruz-crespo *et al.*, 2019). Si las proporciones de aire, agua y sólidos en el sustrato no están en las cantidades apropiadas en el cultivo, las plantas pueden presentar problemas de deshidratación, asfixia, exceso o carencia de nutrimentos.

Es necesario conocer las cualidades físicas del sustrato; el tamaño, la forma, el acomodo de las partículas en los sustratos, generan diferentes poros los cuales

determinan la filtración y la retención del agua (López-Lambraño, 2018). La capacidad del agua que retiene el cultivo en un contenedor, es importante porque de eso depende la cantidad de nutrimentos que se aplicaran en el cultivo (Quintero *et al.*, 2012; Mascarini *et al.*, 2012).

El tamaño de partículas de 0.25 a 1.00 mm incrementan el volumen y aumentan la capacidad de retención de agua; mientras las partículas de tamaños mayores a 3.36 mm y espacios rugosos disminuyen esta propiedad (Anicua *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2011). En relación con los poros, los de empaquetamiento complejo ayudan en la retención de humedad favoreciendo la combinación de materiales de partículas en formas irregulares y de tamaños entre 0.25 y 1 mm (Anicua *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2011). Al mismo tiempo el tamaño, tipo de poro y contenido de agua, afectan la distribución, la morfología y comportamiento funcional del sistema radical.

El desarrollo de plantas en cavidades depende en gran parte del equilibrio agua-aire, la caracterización física de los sustratos nos permiten conocer sus cualidades y deficiencias, la cuales no pueden modificarse después de establecer el cultivo (Abad *et al.*, 2005). Existen diversas técnicas para determinar las características del análisis físico en sustratos. El análisis de la micromorfología nos permite conocer la descripción de los suelos, la porosidad resultante; se ha utilizado para caracterizar otros materiales como perlita y zeolita (Anicua *et al.*, 2009) las mezclas de fibra de coco y tezontle (Gutiérrez *et al.*, 2011).

El movimiento o la retención del agua en un sustrato es necesario cuantificar el tipo, tamaño de los poros y correlacionar esta información con las propiedades físicas (Anicua *et al.*, 2009; Stoops, 2018).

Existen dos tipos de sustratos que son los orgánicos e inorgánicos. Los sustratos orgánicos se caracterizan por que favorecen la formación de poros, los cuales están involucrados en la absorción de nutrientes además de tener altos niveles de retención de agua y una alta capacidad de intercambio catiónico. Algunos materiales que se usan de sustratos comerciales son, fibra de coco, turba de musgo lombricomposta entre otros (Ansorena, 1994). Los sustratos inorgánicos son materiales inertes que solo proporcionan soporte y estabilidad a la planta. Los tamaños de partícula generan porosidad en el medio de crecimiento, favoreciendo así la aireación y el drenaje del agua, dentro de estos se encuentra la agrolita (perlita), vermiculita, lana de roca, entre otros (Prieto *et al.*, 2009).

### **2.11 Características de la clorofila a, b y totales**

Los pigmentos primarios, tienen como finalidad principal la captación de la energía lumínica. Existen dos tipos de organismos fotosintéticos procariotas o eucariotas (bacteoroclorofila a y clorofila a) y acompañados de otros pigmentos, cuya función es ampliar el espectro de absorción de los pigmentos primarios y servir como sistema de protección ante la luz excesiva (Manrique-Esteban, 2003). Los elementos esenciales, Marschner (1986) menciona que más del 75% del nitrógeno orgánico total se encuentra en los cloroplastos, en forma de enzimas, una de las deficiencias de este elemento tiene derivación directa en la

síntesis de clorofila. El contenido de nitrógeno en la hoja es un factor determinante en la tasa fotosintética por unidad de área foliar, si el contenido es alto, la tasa fotosintética también lo será (Calderón *et al.*, 1997).

La concentración de la clorofila-*a* es utilizada en forma indirecta la biomasa de las fotoplanctónicas, debido a que es el principal pigmento fotosintético presente en las algas (Gregor y Marsálek, 2004). Para estimar la clorofila existen diferentes procedimientos, métodos y modelos matemáticos, desarrollados con el objeto de minimizar los errores ocasionados por otros pigmentos fotosintéticos y algunos compuestos químicos presentes en el agua (APHA,1998). Los métodos cromáticos permiten la cuantificación exacta de la clorofila y todos su derivados este tipo de tecnología es de limitado acceso en pequeños laboratorios por sus altos precios. Para realizar la cuantificación de clorofila, se ha encontrado en la literatura diferente solventes entre ellos la acetona, metanol, etanol, entre otros y en los procedimientos de extracción maceración, sonicación, calentamiento y congelamiento, además de la aplicación de las ecuaciones (monodi y tricromaticas) que utilizan las longitudes de onda (Banderas *et al.*, 1991; Pérez *et al.*, 2002; Ramírez y Alcaráz, 2002).

El método fluométrico de Welschmeyer (1994) es más sensible y preciso en la cuantificación de la clorofila en los métodos espectrofométricos ya que no se ve afectado por la presencia de feopigmentos y clorofila-*b* en la muestra. Los factores exógenos importantes para que se lleve a cabo el proceso de transformación lumínica son: la energía radiante, humedad, temperatura y estrés hídrico (Kaufmann y Linder, 1996). Las plantas que son sometidas a cualquier

tipo de estrés están expuestas a perder la capacidad fotosintética y reducir el contenido de clorofila de sus hojas (Carter y Knapp, 2001).

En hojas jóvenes de pino en condiciones de competencia, disminuye el  $\text{Ca}^+$  y la clorofila total (Carter *et al.*, 1989), las especies son más susceptibles para adaptarse morfológica o fisiológicamente, para captar y utilizar de manera activa, la escasa luz disponible.

La clorofila total es la suma de las clorofilas *a* y *b*. La clorofila *a* es el pigmento principal, que transforma la energía lumínica en energía química, es utilizada en el crecimiento de las plantas, es considerado como un pigmento activo. La función de la clorofila *b* absorbe la luz en longitudes de onda diferentes que la clorofila *a*, la luz se transfiere después de la clorofila *a* que la transforma en energía; por ello a la clorofila *b* se le considera un pigmento que forma parte de las antenas colectoras (García-Brejio *et al.*, 2006). La disminución de la intensidad de la luz disminuye la actividad fotosintética y la concentración de clorofila *b* es mayor afectando la relación de clorofilas *a/b* dentro de la planta (Shafiqur-Rehman *et al.*, 2000)

### **CAPÍTULO III**

#### **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y BROTAÇÃO DE SEMILLAS DE Agaves MEZCALEROS**

#### **[PHYSICAL CHARACTERISTICS AND SPROUTING OF Agaves SEEDS]**

**Maritza Monserrat Díaz-Santiago<sup>1</sup>, Vicente Arturo Velasco-Velasco<sup>2\*</sup>, José  
Raymundo Enríquez-Del Valle<sup>2</sup>, Judith Ruiz-Luna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas en el <sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. CP. 71230. Email: [vicente.vv@voaxaca.tecnm.mx](mailto:vicente.vv@voaxaca.tecnm.mx) \*Corresponding autor

#### **RESUMEN**

Los *Agaves* son nativos de América y se aprovechan como productos medicinales y comestibles, para obtener fibras, como ornato, y sobre todo en la elaboración de bebidas alcohólicas. Su colecta no planificada está ocasionando la disminución de las poblaciones silvestres. La reproducción sexual es de gran importancia para conservar la variabilidad genética. El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad de las semillas de *Agave*, y la emergencia de éstas cuando se establecen en diversos sustratos preparados con perlita, turba de musgo y arena en proporciones diferentes. El experimento se estableció de acuerdo al diseño experimental completamente aleatorio enmarcado en el factorial 3x4, esto es, tres sustratos y cuatro especies de *Agave*.

Se evaluó la longitud, el ancho y el peso, la flotación en agua y el color de cada especie, el porcentaje de brotación en diferentes mezclas de sustratos. Las semillas mostraron dimensiones de longitud (mm) y ancho (mm), respectivamente, en el siguiente orden: *Agave rhodacantha* (9.49, 7.43) > *A. marmorata* (6.42, 4.89) > *A. potatorum* (6.15, 4.61) > *A. karwinskii* (6.03, 4.58). Las semillas de *A. marmorata* mostraron significativamente el mayor peso (5.2 mg/semilla). 1.0 kg de semillas contiene en promedio 105 mil, 200 mil, 250 mil y 260 mil semillas en *A. potatorum*, *A. rhodacantha*, *A. karwinskii* y *A. marmorata*, respectivamente. Entre 47-60% de las semillas negras se hundieron al colocarlas en un recipiente con agua. Las semillas blancas o amarillas no mostraron emergencia al ser sembradas. En la mezcla del sustrato turba de musgo y arena en relación 3:2 se mostró el mayor porcentaje de emergencia de plantas (33.92%). Los datos generados en este estudio permitirán al productor planear la cantidad de semillas a utilizar para una determinada meta de producción de plantas, conociendo las características de las semillas de las diferentes especies de Agave, su peso, porcentaje de germinación, el sustrato adecuado.

**Palabras clave:** *Agave potatorum* Zucc., *A. rhodacantha* Zucc., *A. karwinskii* Zucc., *A. marmorata* Roezl, calidad de semillas, propagación de agaves.

## SUMMARY

The Agaves are native to America and are used as medicinal and edible products, to obtain fibers, as decoration, and especially in the production of alcoholic beverages. Their unplanned collection is causing the decline of wild populations. Sexual reproduction is of great importance to conserve genetic variability. The objective of the present study was to evaluate the quality of Agave seeds, and their emergence when they are established in various substrates prepared with perlite, peat moss and sand in different proportions. The experiment was established according to the completely randomized experimental design framed in the 3x4 factorial, that is, three substrates and four species of Agave. The length, width and weight, floatation in water and color of each species, the percentage of sprouting in different mixtures of substrates were evaluated. The seeds showed length (mm) and width (mm) dimensions, respectively, in the following order: *Agave rhodacantha* (9.49, 7.43) > *A. marmorata* (6.42, 4.89) > *A. potatorum* (6.15, 4.61) > *A. karwinskii* (6.03, 4.58). *A. marmorata* seeds showed significantly the highest weight (5.2 mg/seed). 1.0 kg of seeds contains on average 105 thousand, 200 thousand, 250 thousand and 260 thousand seeds in *A. potatorum*, *A. rhodacantha*, *A. karwinskii* and *A. marmorata*, respectively. Between 47-60% of the black seeds sank when placed in a container of water. White or yellow seeds did not show emergence when sown. In the mixture of the substrate, peat moss and sand in a 3:2 ratio, the highest percentage of plant emergence was shown (33.92%). The data generated in this study will allow the producer to plan the

amount of seeds to use for a certain plant production goal, knowing the characteristics of the seeds of the different Agave species, their weight, germination percentage, and the appropriate substrate.

**Keywords:** *Agave potatorum* Zucc., *A. rhodacantha* Zucc., *A. karwinskii* Zucc., *A. marmorata* Roehl, seed quality, agave propagation.

## INTRODUCCIÓN

Las especies de agaves son plantas monocárpicas (Barrientos *et al.*, 2020). En la reproducción sexual, el óvulo es fecundado por el grano de polen, éste a su vez es transportado por murciélagos, nectarívoros, insectos diurnos y nocturnos, abejas, abejorros, aves, colibríes (García-Mendoza, 2007) y otros animales. Cada fruto de agave denominado cápsula, aloja numerosas semillas, aproximadamente 300 y 2000 según la especie, y no todas las flores logran desarrollar frutos, algunas flores abortan debido a deficiencias de polinización o condiciones ambientales estresantes; además, aunque un Agave produzca gran cantidad de semillas, en condiciones naturales, son muy pocas las que logran germinar (Illsley *et al.*, 2018). Las plantas originadas de semillas son de gran importancia para conservar la variabilidad genética. El aprovechamiento intensivo y no sustentable de poblaciones silvestres de agaves, provoca que éstas se reduzcan por falta de reproducción sexual (Ángeles, 2010; García-Mendoza *et al.*, 2019).

Las semillas se consideran ortodoxas si se conservan viables durante lapsos de tiempo prolongados que pueden ser varios años, debido a que contienen abundantes reservas de carbohidratos, lípidos y proteínas (Pukacka y Ratajczak, 2006). Mientras que las semillas recalcitrantes, son las que pierden rápidamente su viabilidad en periodos relativamente cortos (Magnitskiy y Plaza, 2007; Berjak y Pammenter, 2010), y puede ocurrir en el transcurso de días o meses. El periodo de vida de las semillas está en función del genotipo, condiciones en que desarrolló la planta madre, cosecha, almacenamiento (Gutiérrez-Hernández *et al.*, 2011) entre otros factores bióticos y abióticos. Los agaves son especies acondicionadas a climas secos, disponibilidad escasa de humedad y disponibilidad baja de nutrimentos; condiciones en que estas plantas muestran crecimiento lento (Eguiarte *et al.*, 2000).

El *Agave potatorum* Zucc., es endémico de Oaxaca en los distritos: Coixtlahuaca, Ejutla, Etlá, Huajuapán, Ixtlán, Miahuatlán, Mixe, Nochixtlán, Ocotlán, Teotitlán, Tlacolula, Yautepec, Zaachila y Zimatlán (Illsley *et al.*, 2018; García-Mendoza y Franco-Martínez, 2018). Esta especie es monocárpica y tarda de 8 a 12 años en florecer, no se reproduce de manera asexual (Ignacio-Torres *et al.*, 2013). En los meses previos de que la planta emita su escapo floral, en el tallo se acumulan carbohidratos y otros nutrimentos que servirán para apoyar el evento reproductivo sexual. El tallo con la mayor cantidad posible de carbohidratos, se usa como materia prima para la elaboración del mezcal, el productor corta el quiote (escapo floral) al inicio de su desarrollo para evitar que se consuman los

carbohidratos. Con esta práctica, las plantas no se reproducen sexualmente, y por lo tanto, no se producen semillas que aseguren la regeneración, propiciando que las poblaciones disminuyan, además de la pérdida de variabilidad genética (Enríquez-del Valle, 2008; Delgado-Lemus *et al.*, 2014).

El *Agave rhodacantha* Trel., es endémico en Oaxaca en los distritos de Ejutla, Huajuapán, Miahuatlán, Nochixtlán, Tlacolula, Silacayoapam y Zimatlán (Illsley *et al.*, 2018; García-Mendoza y Franco-Martínez, 2018). Se reproduce sexualmente y se propaga vegetativamente por bulbillos aéreos, brotes basales e hijuelos de rizomas a nivel del suelo (Arizaga, 2002). El *Agave karwinskii* Zucc., es endémico de Oaxaca en los distritos de Ejutla, Ocotlán, Tlacolula, Teotitlán, Zimatlán y Zaachila pertenecientes a la región de los Valles Centrales; Ixtlán, en la región sierra norte; Miahuatlán y Sola de Vega, en la región sierra sur (García-Mendoza, 2010; Illsley *et al.*, 2018;). Se reproduce tanto sexual como asexualmente. Los productores con frecuencia propagan asexualmente esta especie (Vásquez *et al.*, 2011) mediante el trasplante de los vástagos por rizomas, ésta forma de propagación de muchas especies de agave, ha sido aprovechada por los humanos para ir fijando características deseables y eventualmente, domesticar algunas especies o generar nuevas variedades (Casas *et al.*, 2006). El *Agave marmorata* Roezl., en Oaxaca se le encuentra en los distritos de Coixtlahuaca, Huajuapán, Miahuatlán, Tlacolula y Yautepec (García-Mendoza., 2010; Illsley *et al.*, 2018). Se propaga por semillas e hijuelos de rizoma, pero su reproducción es lenta porque su etapa de maduración puede prolongarse hasta 35 años en forma silvestre. Por lo tanto, para establecer plantaciones se deben utilizar métodos de

propagación alternativos y eficientes que aseguren la permanencia de esta especie (Nogales, 2017).

Las plantas de agave en condiciones de vivero logran mayor crecimiento y vigor, cuando se establecen en sustratos que retienen mayor humedad, drenan el exceso de agua y muestran más nutrientes disponibles. Esto se ve reflejado en las plantaciones definitivas (Enríquez-del Valle, 2008). Las propiedades físicas de sustratos están relacionadas con el tamaño y distribución de partículas, así como la porosidad ya que estas determinan la capacidad de retención, porosidad y movimiento del agua, importantes para el crecimiento de las plantas (Vargas *et al.*, 2008; Anicua *et al.*, 2009). Esto es, el tamaño de partícula influye en la relación agua-aire, no solo en materiales específicos (turba de musgo, composta, corteza de pino y perlita), sino también en mezclas de diferentes materiales (Verdonck, 2004). Por lo anterior, el objetivo en el presente estudio fue evaluar la calidad de las semillas de agave, y la brotación de éstas cuando se establecen en diversos sustratos preparados con perlita, turba de musgo y arena en diferentes proporciones.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ubicación geográfica del área de estudio**

La investigación se realizó en la localidad de San Francisco Telixtlahuaca, Oaxaca con coordenadas geográficas entre los 17°16' y 17°28' de latitud norte; los meridianos 96°50' y 97°02' de longitud oeste; altitud entre 1,400 y 2,500 m. El

rango de precipitación es de 400 a 1,000 mm. El clima es Templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (46.74%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano (21.88%), semiseco semicálido (16.02%) y templado subhúmedo con lluvias en verano, menos húmedo (15.36%) (INEGI, 2022).

### **Material vegetal**

Se utilizaron semillas de cuatro especies, *Agave rhodacantha* Trel., proveniente de San Andrés Zautla, *Agave potatorum* Zucc., proveniente de Tlacolula de Matamoros, *Agave karwinskii* Zucc., y *Agave marmorata* Roezl, provenientes de Sola de Vega. Las localidades pertenecen a los Valles Centrales de Oaxaca. Las semillas se resguardaron a temperatura ambiente aproximadamente por un año y medio.

### **Correlación de la longitud, peso y ancho de las semillas**

Se realizó un análisis de correlación ( $r$ ) de Pearson de la longitud, ancho y peso de las semillas, por lo que de cada especie se obtuvieron 300 semillas, las que se pesaron en una balanza analítica digital (precisión de 0.1 mg, Sartorius CP224 S). Cada semilla se pesó individualmente en la balanza analítica y se midió su longitud (mm) y ancho (mm) con un vernier digital (Cadena A020) (ISTA, 2016).

### **Selección de semillas viables y no viables**

Cuando se extrajeron las semillas de los frutos que son cápsulas, muchas eran de color negro y otras eran casi blancas. Las de color blanco se menciona que son infértiles, de acuerdo a los comentarios de los productores, por lo que se

sembraron 100 semillas en dos charolas (50 cavidades) de cada especie para su comprobación. Las semillas de color negro son fértiles aunque su viabilidad va a depender del tiempo de almacenamiento, y de que estén libres de daños por insectos o algún patógeno (Alzugaray *et al.*, 2007).

Se contabilizaron 1000 semillas negras por cada especie. En un recipiente de vidrio de 500 mL se adicionaron 250 mL de agua, posteriormente se vertieron las semillas y se dejaron por 24 h. Las semillas que quedaron flotando en la superficie del agua fueron las no fértiles y las que quedaron en el fondo del recipiente fueron las semillas fértiles (Comunicación personal de productores; Tseng, 1991; Paz y Vázquez-Yanez, 1998; Sarita y Domingos, 1999; Bhattacharya y Khuspe, 2001). Estas últimas se retiraron y se sumergieron durante cinco minutos en una suspensión de fungicida (ingrediente activo Tiabendazol a razón de 1.0 g L<sup>-1</sup>) antes de sembrarlas.

### **Preparación de sustratos y semilleros**

Para germinar las semillas se usaron tres diferentes sustratos que fueron mezclas de los materiales siguientes: perlita y turba de musgo 1:1, turba de musgo y arena 3:2, turba de musgo y arena 2:3. Se utilizaron semilleros de poliestireno con dimensiones de 52x26x6 cm y divididas en 50 cavidades de 78.125 cm<sup>3</sup>. Antes de vaciar el sustrato, los semilleros se lavaron con agua clorada (0.5 mL de solución 6% de Hipoclorito de sodio L-1 de agua).

Por cada uno de los 12 tratamientos se usaron tres charolas de 50 cavidades cada una (150 semillas). Los sustratos fueron humedecidos antes de agregarlos

a las charolas, y en cada espacio se sembró una semilla a 1.0 cm de profundidad del sustrato, y posteriormente con regadera se aplicó un riego. Durante los primeros 30 días se aplicó un riego al día (para mantener los sustratos húmedos), posteriormente cada tercer día. Las charolas con semillas se colocaron en un lugar con techado de lámina y con malla sombra alrededor, las charolas se colocaron sobre bancales de madera de 60 cm de alto. Se tomaron muestras de cada sustrato para analizar su pH (Conductronic PC45) y la densidad de acuerdo a la metodología de Masaguer *et al.* (2006).

### **Diseño experimental y tratamientos**

El experimento se estableció según el diseño experimental completamente aleatorio (DCA), enmarcado en el diseño de tratamientos factorial 3x4, esto es, tres niveles del factor sustratos y cuatro niveles del factor especies de *Agave*. Lo anterior generó 12 tratamientos, siendo la unidad experimental un grupo de 50 semillas y se tuvieron tres repeticiones por tratamiento.

### **Variabes de estudio y análisis estadísticos**

Cada cinco días durante los primeros 30 días después de la siembra, se registró el número de plántulas que brotaron. En todas las variables evaluadas se realizó un análisis de varianza de acuerdo al diseño experimental y de tratamientos utilizados y prueba de medias (Tukey,  $\alpha=0.05$ ) para las variables de longitud, ancho y peso de las semillas; mientras que para las variables de germinación de semillas y emergencia de plántulas de *Agave* se usó la prueba de media (Duncan,  $\alpha=0.05$ ). Se realizaron correlaciones ( $r$ ) de Pearson entre la longitud, ancho y

peso de las semillas. Para los análisis estadísticos se utilizó el software Statistical Analysis System (SAS Institute, 2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Descripción de características de las semillas

Los análisis de varianza muestran que las semillas de agave son significativamente diferentes (Cuadro 1) en las variables de peso, longitud y ancho de las semillas.

**Cuadro 1.** Resumen de tres análisis de varianza para peso y dimensiones de las semillas de Agave.

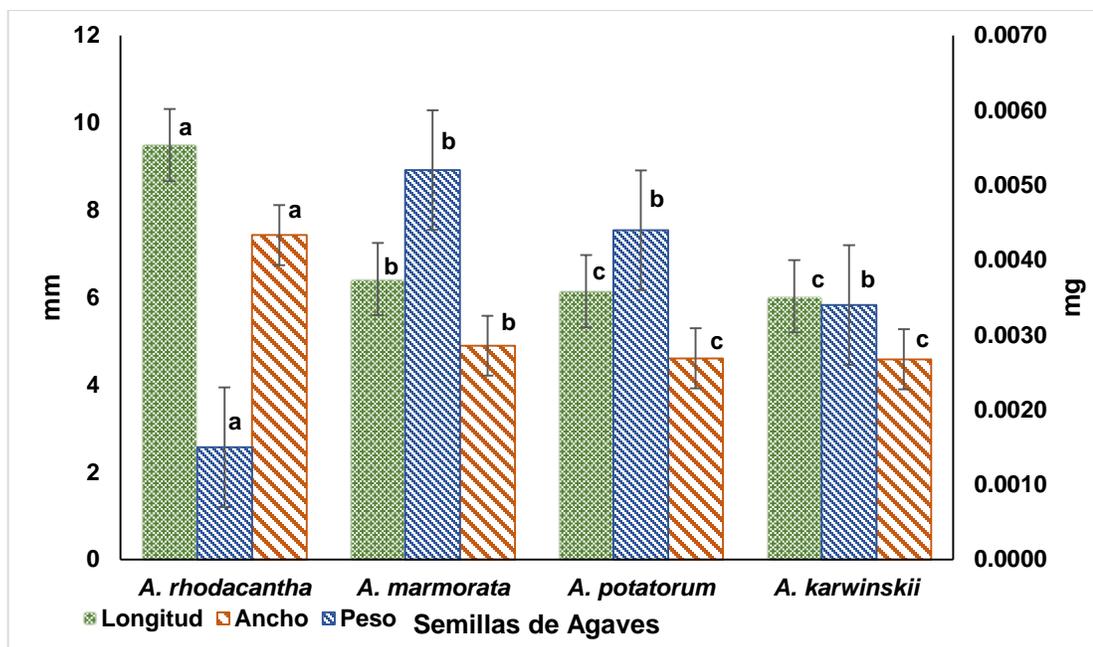
Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios de error y significancia		
		Peso de semillas (g)	Longitud de semillas (mm)	Ancho de semillas (mm)
Especies de <i>Agaves</i>	3	13.55**	1394.54**	1148.71**
Error	1196	0.0092	820.29	566.18
Total	1199			

\*\*valores de F altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ).

Las semillas del *Agave rhodacantha* pesaron en promedio 15.39 mg, 9.48 mm de longitud y 7.43 mm de ancho, que en cada caso fueron más grandes en comparación de las otras especies, *A. karwinskii*, *A. marmorata* y *A. potatorum* (Figura 1). Lo anterior puede deberse a que en el género *Agave* el tamaño de la

semillas tiene relación directa con el tamaño de la planta. Ya que el *Agave rhodacantha* es más grande en comparación con las otras especies, esto es, muestra alturas de 2.5 m, su inflorescencia mide de 8 m. La roseta del *Agave potatorum* llega a medir 60 cm de altura, su inflorescencia es de 4 m de alto, el *Agave marmorata* mide 2.5 m de altura, su inflorescencia es de 10 m de alto, el *Agave karwinskii* mide 1.5 m, su inflorescencia mide 4 m de alto (García-Mendoza *et al.*, 2018; Biodiversidad mexicana, 2022).

En las cuatro especies se encontró correlación de medio a baja, pero significativamente diferente de cero, entre la longitud y ancho de las semillas. Mientras que solo en *A. potatorum* y *A. marmorata* hubo correlaciones de medias a bajas ( $r=0.3423$ ), pero significativamente diferentes de cero, entre peso y longitud de la semilla. En *A. marmorata* hubo correlación baja ( $r= 0.1186$ ) pero significativamente diferente de cero entre ancho y peso de la semilla (Cuadro 3). Las semillas con tamaño o peso mayores dentro de cada especie, puede traducirse en mayor vigor, mostrando mayor germinación, alta capacidad de supervivencia y por lo tanto, generar plantas más vigorosas (Wulff, 1986) que se complementa con las condiciones ambientales, temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes, en que crezca la planta (Milberg *et al.*, 1996).



**Figura 1.** Longitud (mm), ancho (mm) y peso de semillas (mg) de *Agave rhodacantha* Trel, *A. karwinskii* Zucc, *A. marmorata* Roehl. y *A. potatorum* Zucc. Barras con la misma letra dentro de cada variable no son diferentes significativamente, Duncan ( $p \leq 0.05$ ) (Promedio de 300 semillas).

**Cuadro 2.** Coeficientes de correlación Pearson entre ancho, longitud y peso de 300 semillas por especie de *Agaves*.

	<i>A. potatorum</i>			<i>A. rhodacantha</i>			<i>A. karwinskii</i>			<i>A. marmorata</i>		
	Ancho	Longitud	Peso	Ancho	Longitud	Peso	Ancho	Longitud	Peso	Ancho	Longitud	Peso
Ancho	1	0.5572	0.3423	1	0.5420	0.0406	1	0.4251	0.0066	1	0.55034	0.1186
		0.0001	0.3350		0.0001	0.4828		0.0001	0.9094		0.0001	0.04
Longitud		1	0.5572		1	0.0622		1	0.0881		1	0.2127
			0.0001			0.2822			0.1276			0.0002

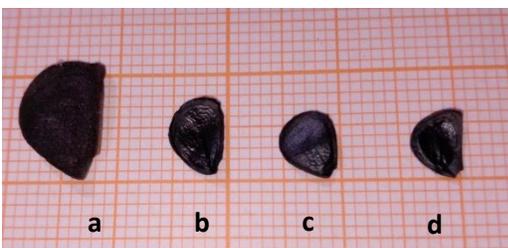
Con la información obtenida se deduce la cantidad de semillas en un determinado peso en las especies estudiadas (Cuadro 3) que es útil conocer cuando se implementan metas de producción de plantas en vivero. Es razonable que las

semillas de tamaño mayor sean más pesadas, lo contrario con las semillas pequeñas como *Agave marmorata* que es 2.7 veces menor que *Agave rhodacantha*. Lo contrario ocurre con el número de semillas, el de mayor cantidad fue el *Agave marmorata* por el menor tamaño y peso, y el de menor número fue el *Agave rhodacantha*. García-Mendoza (2018) encontraron que el peso de 1000 semillas de *Agave cupreata* (Trel. & A. Berger) (Asparagaceae) para la procedencia con escapo duro, fue 7.17 g, igual a 139,470 semillas kg-1. Para la otra procedencia y fenotipo, 1000 semillas pesaron 7.515 g, con 133,067 semillas kg-1.

**Cuadro 3.** Cantidad y peso de semillas de *Agaves*.

Especies de <i>Agave</i>	Peso de una semilla (g)	Peso de 100 semillas(g)	Peso de 1000 semillas (g)	Número de semillas en 1.0 g	Número de semillas en 1.0 Kg
<i>A. potatorum</i>	0.0019-0.0063	0.50 - 0.58	5.15-5.27	194 - 200	194 000-200 000
<i>A. rhodacantha</i>	0.0011-0.0123	1.0 - 1.12	10.03 - 10.78	98 - 105	98 000-105 000
<i>A. karwinskii</i>	0.0033-0.0066	0.4 - 0.51	4.14 - 4.25	255 - 260	255 000-260 000
<i>A. marmorata</i>	0.0019-0.0031	0.34 - 0.39	3.61 - 3.65	247 - 250	247 000-250 000

En la figura 2 se muestra el tamaño de las semillas de las cuatro especies de *Agave*. Las semillas tienen forma lacrimiforme son planas (Villanueva *et al.*, 2021). Leishman y Westoby (1992) indican que las variaciones en la forma y el tamaño de las semillas tienen un papel importante en la historia de vida de una especie. El tamaño de la semilla puede afectar potencialmente el tamaño y la resistencia de las plántulas que se generen (Wulff, 1986).

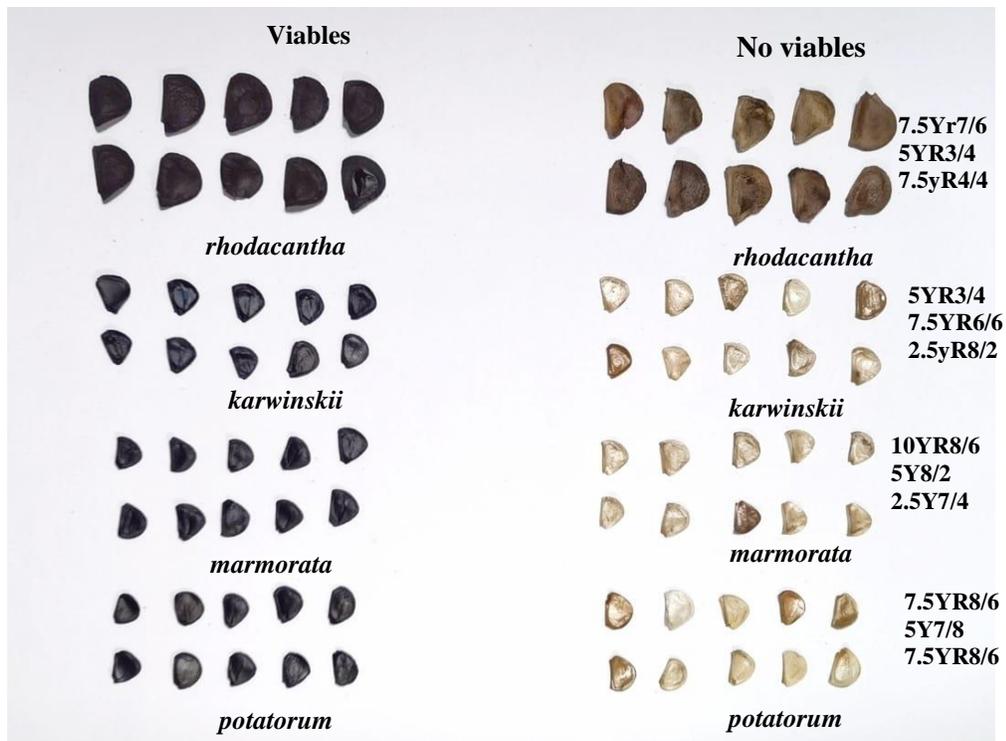


**Figura 2.** Tamaño de las semillas de diferentes especies de Agaves a) *A. rhodacantha* Trel. b) *A. potatorum* Zucc. c) *A. marmorata* Roezl. d) *A. karwinskii* Zucc. Cada cuadro pequeño mide 1.0 milímetro de ancho, por lo que un cuadro con línea gruesa mide 1.0 cm<sup>2</sup>.

### **Color de las semillas de Agave**

Se observaron semillas de color negro brillante y semillas amarillas en diferentes tonalidades. Estas últimas de acuerdo con la carta de colores Munsell (2012) para vegetales, fueron: 7.5YR 7/6 amarillo rojizo, 5YR 3/4 marrón oscuro, 7.5YR 4/4 marrón, 5YR 3/4 marrón rojizo oscuro, 10YR8/6 amarillo, 5Y8/2 blanco rosado, 2.5Y 7/4 marrón rojizo claro, 7.5YR 8/6 rosa y 5Y 7/8 amarillo rojizo (Figura 3). Las semillas negras son fértiles, mientras que las amarillas, blancas o de color café son infértiles (García-Mendoza, 2018). De las 100 semillas amarillas sembradas de cada especie, a los 30 días no ocurrió la emergencia de alguna plántula. Las semillas amarillas no germinaron, lo que confirma la aseveración de los productores de *Agave* y de otros investigadores en otras especies y de manera general Illsley *et al.* (2018). Por lo anterior, la infertilidad las semillas amarillas puede deberse su infertilidad a que no se pudo formar completamente el embrión y otros tejidos. Las diferentes tonalidades en el color de la semilla se puede deber al contenido y distribución de pigmentos, a los nutrientes, a la interacción de diferentes factores ambientales (Todd y Vadkin, 1996; Baskin y

Baskin, 2001) y a los contenidos fenólicos en la cubierta seminal (Debeaujon et al., 2000).



**Figura 3.** Semillas viables y no viables de agaves y color de acuerdo a la carta Munsell (2012).

### Selección de semillas por flotación

De 1000 semillas negras por especie vertidas en el recipiente con agua, se presentan los porcentajes de semillas que se hundieron y las que flotaron (Cuadro 4). Las semillas que se hundieron permiten suponer que sean fértiles y esta fertilidad puede ser influida por el tiempo de almacenamiento, temperatura, la nutrición de la planta y otros factores (Chong, 2002). Este procedimiento lo realizan de forma empírica los productores de *Agave* para seleccionar las semillas, se sumergen en agua durante 24 horas antes de la siembra para que

ocurra la imbibición, rompan su latencia e inicie el proceso de germinación (Mandujano, 1993).

**Cuadro 4.** Semillas que flotaron y que se hundieron en el recipiente con agua.

Especie de <i>Agave</i>	Número de semillas por especie	Semillas que se hundieron	Semillas que flotaron
<i>A. potatorum</i>	1000	55%	45%
<i>A. rhodacantha</i>	1000	60%	40%
<i>A. karwinskii</i>	1000	47%	53%
<i>A. marmorata</i>	1000	58%	42%

### Germinación de las semillas y emergencia de las plántulas

El análisis de varianza (Cuadro 6) mostró efectos diferentes altamente significativos de los factores sustratos, y especies, así como efecto significativo de la interacción, en la germinación de las semillas y emergencia de plantas. Se deben de tomar en cuenta que los factores ambientales, como la luz, la humedad y la temperatura son importantes para la germinación de semillas (Doria, 2010).

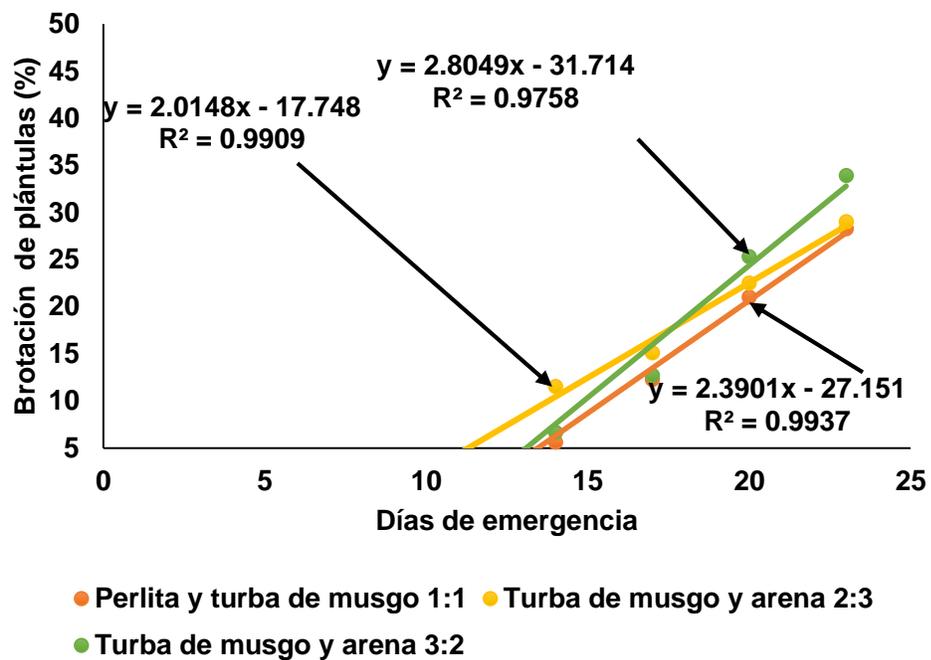
**Cuadro 5.** Análisis de varianza de la brotación de las plántulas de agave en función de los factores sustrato y especie.

Fuente de variación	GL	Cuadrado de las medias	F-Valor	Pr>F
Sustrato	3	953.62	22.19	<0.0001**
Especie	2	35.52	0.83	<0.4459 <sup>ns</sup>
Sustrato*especie	6	57.71	1.34	<0.2772 <sup>ns</sup>
Error	24			
Total	35			

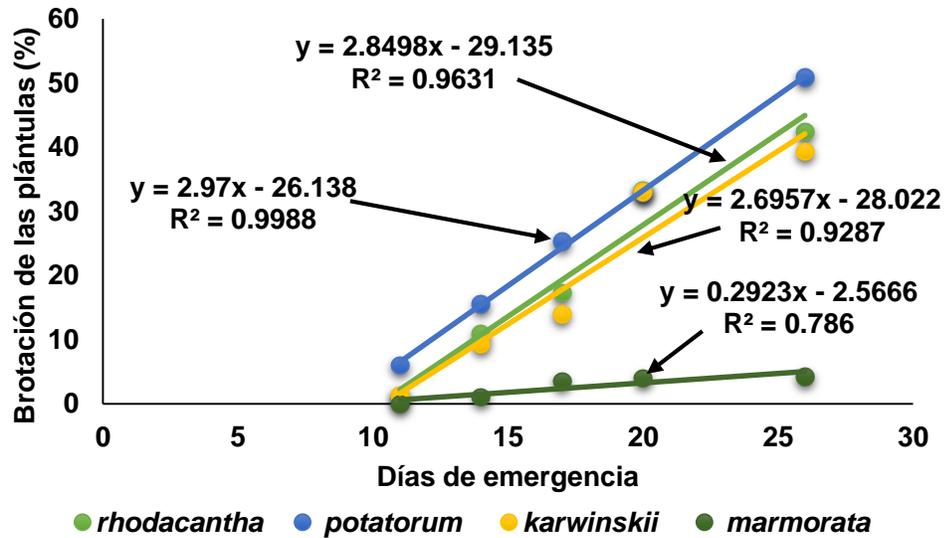
\*\*valores de F altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ).

La brotación de las plantas en función de las diferentes mezclas de sustratos inició a los 11 y transcurrió hasta los 26 días después de la siembra (Figura 4) posteriormente ya no se observó que emergieran más plantas. En el sustrato

turba de musgo y arena en relación 3:2, germinó el 33.92 % de semillas, así como la emergencia de plántulas; mientras que el sustrato con turba de musgo y arena en relación 2:3 y en el sustrato perlita y turba de musgo en relación 1:1 germinó el 29.03 y 28.29 % de semillas, respectivamente. Las semillas de *Agave potatorum*, *A. rhodacantha*, *A. karwinskii* y *A. marmorata*, germinaron el 50.88, 42.44, 39.33 y 4.22 %, respectivamente (Figura 5). Las notables diferencias en porcentajes de germinación se podrían atribuir al tiempo transcurrido desde que se colectaron las semillas, las condiciones en que se almacenaron, el tipo de sustrato.



**Figura 4.** Porcentaje de semillas que brotaron y emergieron de las plántulas de *Agave* en función de los sustratos durante los 30 días después de la siembra de las semillas.



**Figura 5.** Porcentaje de semillas que brotaron y emergieron de las plántulas de Agave en función de las especies a los 30 días después de la siembra.

**Cuadro 6.** Análisis de mezclas de sustratos.

Sustratos	pH	Densidad aparente
turba de musgo y perlita 1:1	5.45	0.16 cm <sup>3</sup>
Turba de musgo y arena 2:3	5.32	1.02 cm <sup>3</sup>
Turba de musgo y arena 3:2	4.75	0.863 cm <sup>3</sup>

La arena son partículas de mineral de SiO<sub>2</sub>, con tamaño entre 0.5 y 2.0 mm de diámetro, su capacidad de retención de agua es de 56% aproximadamente y densidad aparente de 1.6 g cm<sup>3</sup> (Handreck, 1983). La perlita es un silicato de aluminio de origen volcánico, con gránulo de color blanco a grisáceo y tamaños de partícula de 1.0 a 4.0 mm. La porosidad va de 34 a 65%, por lo que presenta excelente capacidad de aireación y baja densidad aparente (0.125 g cm<sup>3</sup>). Burés (1997) describe que la perlita tiene 0.12 g cm<sup>-3</sup>. de densidad aparente. Retiene la

humedad en 63% en promedio, y su pH varía de 6.5 a 7.5 (Abad *et al.*, 1993; Handreck, 1983).

La turba de musgo es ampliamente utilizado en la producción de plantas de *Agave*, ya que tiene una alta capacidad de retención de humedad, niveles adecuados de pH que varían entre 6.0 y 8.5 y buena capacidad de intercambio catiónico (Rodríguez, 2008). Para la producción de especies forestales se ha utilizado por muchos años el sustrato compuesto por turba de musgo, perlita, ya que presenta características físicas y químicas adecuadas para la producción de plantas (Haase *et al.*, 2016). La calidad de las plántulas va a depender de su ambiente de crecimiento, en que se incluye el tipo de sustrato, teniendo en cuenta sus características físico-químicas (Bunt, 1988), ya que el desempeño de las raíces está directamente ligado a las condiciones de aireación, contenido de agua y la disponibilidad de nutrientes (Andrade *et al.*, 2018).

## **CONCLUSIONES**

Se presentaron diferencias morfológicas en cuanto a peso, longitud y ancho en las cuatro especies evaluadas, que presentan diferentes tonos de coloraciones que indican la fertilidad de las semillas, que el sustrato de turba de musgo y arena favorece la germinación y que se presentaron bajos porcentajes de germinación entre cada especie que puede deberse a factores del almacenamiento o bien durante el proceso de colecta.

## **Agradecimientos**

Al CONACYT y al Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca por el apoyo económico en la realización del presente estudio.

## **Funding**

This research is part of the project "Physical characteristics of seeds, germination and emergence of Agave seedlings in different substrates". Code 15344.22-P.

## **Conflic of interés**

The authors declare that there is no conflict of interest associated with the results of this publication.

## **Compliance with ethical standards**

Agave seeds were provide by the statement producers.

## **Author contribution statement (Credit)**

M. M. Díaz-Santiago, V. A. Velasco-Velasco contributed to the planning, execution, writing, and data analysis. J. R. Enríquez-del Valle wrote and analyzed the data. J. Ruiz-Luna, supervised the methodologies for the evaluations, reviewed and authorized the writing.

## REFERENCIAS

- Abad, M., Martínez, P.F., Martínez, M.D., Martínez, J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura*, 11:141- 154.
- Alzugaray.C, Nélica J. Carnevale, Adriana R. Salinas, Rosanna Pioli. 2007. Factores bióticos y abióticos que afectan la calidad de las semillas de *Schinopsis balansae* Engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltdl, *Revista Iberoamericana de Micología*, 24:2. 142-147. DOI:[https://doi.org/10.1016/S1130-1406\(07\)70030-X](https://doi.org/10.1016/S1130-1406(07)70030-X).
- Ángeles, Graciela.2010. De la biodiversidad al monocultivo: efectos del monocultivo de *Agave angustifolia* en el estado de Oaxaca. En León Enrique Ávila y Giovanni Pardini (coords.). Patrimonio natural y territorio. Chiapas, México: Biblioteca virtual de Derecho, Economía y Ciencias Sociales, pp. 95-116.
- Anicua, S., M. C. Gutiérrez C., P. Sánchez G., C. Ortiz S., V. H. Volke H., y J. E. Rubiños P. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agric. Téc. Méx.* 35: 147-156.
- Arizaga-Santiago., E.Ezcurra. 2002. Propagation Mechanism in *Agave macroacantha* (*Agavaceae*), a Tropical Arid-Land Succulent Rosette. *American Journal of Botany*. 89(4): 632-641. 10.3732/ajb.89.4.632
- Barrientos-Rivera, G., Hernández-Castroll. E. Sampedro-Rosas. Ma. L. y Segura-Pachecho.H.R.2009. Conocimiento tradicional y academia: productores de

maguey y mezcal de pequeña escala en las regiones Norte y Centro de Guerrero, México. Sociedad Ambiente. 1-28. DOI: 10.31840/sya.vi23.2173.

Baskin, C. C., and J. M. Baskin. 2001. Seeds. Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press. San Diego. 666 p. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2000.tb01610.x>

Berjak P, Pammenter NW. 2010. Semillas ortodoxas y recalcitrantes. En Manual de Semillas de Árboles Tropicales. Universidad de Natal. Sudáfrica. pp. 143-155.

Bhattacharya, J., Khuspe, S. S. 2001. In vitro and in vivo germination of papaya (*Carica papaya* L.) seeds. *Scientia Horticulturae*. 91: 39-49. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00237-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00237-0)

Biodiversidad mexicana. URL. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/magueyes>. Fecha de consulta 05 de marzo de 2022.

Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for containergrown plants. Unwin Hyman. London, Great Britain. 309 p. DOI: 10.1007/978-94-011-7904-1.

Burés, S. 1997. Sustratos. Ed. Agrotecnia. S. L. Madrid, España. 339 p.

Casas, A., Torres-Guevara, J., Parra, F., Cruz, A. 2006. Domesticación y agricultura en América: historia y perspectivas del manejo de recursos genéticos en el Nuevo Mundo In: Domesticación en el continente americano. Volumen 1. Manejo de biodiversidad y evolución dirigida por

las culturas del Nuevo Mundo. Casas, A., Torres-Guevara, J., Parra, F. Eds. Universidad Nacional Autónoma de México/ Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) del Perú. México/ Perú. URL:<https://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/DOMESTICACION.pdf>.

Chong, C. 2002. Experiences with wastes and composts in nursery substrates. *Hort. Tech.* 15(4):739-747

Debeaujon. I., León-Kloosterziel., Koornneef. M. 2000. Influence of the Testa on Seed Dormancy, Germination, and Longevity in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 122: 403-413. DOI: 10.1104/pp.122.2.403

Delgado-Lemus, A., Casas, A., Téllez, O. 2014. Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal. Ethnobiology and Etnomedicine.* 10:63. DOI:10.1186/1746-4269-10-63.

Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales.* 31(1):74-85.

Eguiarte, L.E., Silvia, A., Souza, V. 2000. Biología evolutiva de la familia Agavaceae: biología reproductiva, genética de poblaciones y filogenia. *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* 66: 131-150. DOI: 10.17129/botsci.1618

- Enríquez del Valle, J. R. 2008. La propagación y crecimiento de Agaves. Fundación Produce Oaxaca A. C. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. México. 46 p.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los agaves de México. *Ciencias*, 87:14-23. <https://www.redalyc.org/pdf/644/64408704.pdf>
- García-Mendoza, A. J., Franco Martínez, I. S., y Sandoval G., D. 2019. Cuatro especies nuevas de Agave (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta botánica mexicana*, 126.
- García-Mendoza, A. J., I. S. Franco-Martínez. 2018. Actualización de la información de las especies y subespecies de magueyes de Oaxaca, con énfasis en las especies mezcaleras. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. NE012. Ciudad de México. URL:<http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfNE012.pdf>
- García-Mendoza, A.J., 2010.revisión taxonómica del complejo agave *potatorum* zucc. (Agavaceae): nuevos taxa y neotipificación. *Acta Botánica Mexicana*. 91:pp. 71-93. URL: <http://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n91/n91a8.pdf>
- Gutiérrez-Hernández, G. F., Vázquez-Ramos, J. M., García-Ramírez, E., Franco-Hernández, M. O., Arellano-Vázquez, J. L., Durán-Hernández, D. 2011. Efecto del envejecimiento artificial de semillas de maíces criollos azules en

su germinación y huella genómica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(2): 77-84. <https://www.redalyc.org/pdf/610/61018842006.pdf>

Haase, D. L., Dumroese, R. K., Wilkinson, K. M., & Landis, T. D. 2016. Tropical nursery concepts and practices. *Tropical Forestry Handbook*. 1005 - 1041. DOI: 10.1007/978-3-642- 54601-3\_142

Handreck, K. A. 1983. Particle size and the physical properties of growing media for containers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 14: 209-222. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103628309367357>

Ignacio-Torres, A. C., Delgado-Lemus, A., Rangel-Landa, S.2013. Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, México: Aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable. *Centro de Investigaciones de Zonas Áridas*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. 15(1):92-109. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rza/article/view/110>

Illsley, C., Torres-García, I., Hernández-López, J, de J., Morales-Moreno, P., Varela- Álvarez, R., Ibáñez-Couoh, I., Nava-Xinol, H. 2018. Manual de manejo campesino de magueyes mezcaleros forestales. México: Grupo de Estudios Ambientales y sociales, AC. Pp.1-96. URL: [https://www.researchgate.net/publication/328469804\\_Manual\\_de\\_manejo\\_campesino\\_de\\_magueyes\\_mezcaleros\\_forestales](https://www.researchgate.net/publication/328469804_Manual_de_manejo_campesino_de_magueyes_mezcaleros_forestales)

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Consultado 02-03-2022. URL:[inegi.org.mx/temas/climatologia/](http://inegi.org.mx/temas/climatologia/)

- ISTA (International Seed Testing Association) .2016. International Rules for Seed Testing. Seed Sci. Technol. URL: <https://www.seedtest.org/en/publications/international-rules-seed-testing-1168.html>
- Leishman, M. R., Westoby, M. 1992. Classifying plants into groups on the basis of associations of individual traits-evidence from Australian semi-arid woodlands. *Journal of Ecology*. 80(3):417-424. DOI:10.2307/2260687.
- Magnitskiy, S.V., Plaza, G.A. 2007. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana*, 96-103. URL: <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n1/v25n1a11.pdf>
- Mandujano. R. A. 1993. El Papayo. Ed. Agrofrut S. A. de C. V. México, D. F., México. 37 p.
- Masaguer, A. López. M, C., Ruiz, J. 2006. Producción de planta ornamental en contenedor con sustratos alternativos a la turba. Madrid, España, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. 169 p.
- Milberg.P., Andersson.L., Elverson.C., Regnér S.1996. Germination characteristics of seeds differing in mass. *Seed Sci. Res.* 6: 191-197.
- Munsell Plant Tissue Color Book With genuine Munsell Color Chips. 2012.
- Nogales, L.2017. Tepeztate, el maguey del monte. URL: <https://mezecologia.mx/tepeztate/>. Fecha de consulta: 02 de marzo de 2022.

- Paz, L., Vázquez-Yanes. C.1998. Comparative seed ecophysiology of wild and cultivated *Carica papaya* trees from a tropical rain forest region in Mexico. *Tree Physiology*. 18: 277-280. DOI:10.1093/treephys/18.4.277
- Pukacka. S., Ratajczak E. 2006. Antioxidative response of ascorbate–glutathione pathway enzymes and metabolites to desiccation of recalcitrant *Acer saccharinum* seeds. *J. Plant Physiol.* 163: 1259-1266. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.10.003>
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi-Prensa. México, D. F. 156 p.
- Sarita, L., Domingos, R.J.1999. The effect of gibberellins, cytokinins and potassium nitrate on Rangpur lime (*Citrus limonia* Osbeck) seed germination. *Science Agriculture* 56: 11-115.
- (SAS) Statistical Analysis System . 2004. User's guide. SAS/ETS® 9.1. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. s/p.
- Tood, J., Vadkin. 1996. Duplications that suppress and deletions that restore expression from a Chalcone synthase multigene family. *The Plant Cell*. 8: 687-699. URL:<https://academic.oup.com/plcell/article/8/4/687/5985092>.
- Tseng, T.M.1991. The effect of GA3 concentration and time of treatment on the promotion of papaya seed germination. *Guoli Taiwan Daxue Nongxueyuan Yanjiu Baogao* 31: 30-39.

- Vargas T., P., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., P. Sánchez G., L. Tijerina C., R. M. López R., C. Martínez S., y J. L. Ojodeagua A. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agr. Téc. Méx.* 34: 323-331.
- Vásquez-Díaz. E., García-Nava. R.J., Peña-Valdivia. C, B., Ramírez-Tobías. H, M., Morales-Ramos.V.2011.Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck).*Revista Fitotecnia Mexicana.* 34 (3), 167-173. URL: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802011000300007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802011000300007)
- Verdonck, O. 2004. The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. *International Society for Horticultural Science.* 644:99-101. DOI:10.17660/ActaHortic.2004.644.10
- Villanueva-Castillo, D.M., Velasco-Velasco, V.A., De los Santos-Romero, R.B., Ruiz-Luna,J., Rodriguez-Ortiz, G. 2021. Variación morfométrica en semillas de agaves silvestres de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.*12 (1). 155-162. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2426>
- Wulff, R. D. 1986. Seed size variation in *Desmodium paniculatum*: I. Factors affecting seed size. *Journal of Ecology.* 74 (1):87-97. DOI: 10.2307/2260350. DOI: <https://doi.org/10.2307/2260350>

## **CAPÍTULO IV**

### **CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *Agaves* EN DIFERENTES MEZCLAS DE SUSTRATOS**

**[Growth of Agave seedlings in different substrate mixtures]**

**Maritza Monserrat Díaz-Santiago<sup>1</sup>, Vicente Arturo Velasco-Velasco<sup>2\*</sup>, José Raymundo Enríquez-Del Valle<sup>2</sup>, Judith Ruiz-Luna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas en el <sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. CP. 71230. Email: [vicente.vv@voaxaca.tecnm.mx](mailto:vicente.vv@voaxaca.tecnm.mx) \*Autor para correspondencia.

## **RESUMEN**

En el estado de Oaxaca, México los Agaves son se usan como materia prima para la elaboración de mezcal, entre otros usos. Un cultivo en diferentes sustratos beneficia al crecimiento y rendimiento; sin embargo, depende de las características y del requerimiento del cultivo.

Con el objetivo de evaluar el crecimiento de plántulas de agaves en diferentes mezclas de sustratos mediante el suministro de solución nutritiva Steiner. Las especies fueron *Agave rhodacantha* Trel., *Agave potatorum* Zucc. y *Agave karwinskii* Zucc. Se estableció un diseño experimental completamente aleatorio enmarcado en el factorial 3x3x2, esto es, tres niveles del factor especie, tres niveles del factor sustrato y dos niveles del factor solución nutritiva. Lo anterior generó 24 tratamientos con 15 repeticiones, la unidad experimental fue una planta. Se evaluó el número de hojas, de la hoja más grande de la planta se midió longitud (cm), ancho (cm) y altura de las plántulas (cm). Se realizó extracción y cuantificación de clorofila utilizando el método espectrofotométrico. A los 45 días de haber obtenido los resultados de las variables a un no se observa una mezcla de sustrato en específico que mostrara el mayor crecimiento en los Agaves. En la aplicación de la solución nutritiva al 50% incrementaron significativamente respecto a las variables evaluadas. La producción de clorofila a un no muestra efectos significativos por el tiempo en el que se realizó la extracción.

**Palabras clave:** Solución nutritiva, clorofila, cuantificación.

## SUMMARY

In the state of Oaxaca, Mexico, Agaves are used as raw material for the production of mezcal, among other uses. A culture in different substrates benefits growth and yield; however, it depends on the characteristics and the requirement of the crop. In order to evaluate the growth of agave seedlings in different substrate mixtures by supplying Steiner nutrient solution. The species were *Agave rhodacantha* Trel., *Agave potatorum* Zucc. and *Agave karwinskii* Zucc. A completely randomized experimental design framed in the 3x3x2 factorial was established, that is, three levels of the species factor, three levels of the substrate factor and two levels of the nutrient solution factor. The above generated 24 treatments with 15 repetitions, the experimental unit was a plant. The number of leaves was evaluated, the length (cm), width (cm) and height of the seedlings (cm) of the largest leaf of the plant were measured. Extraction and quantification of chlorophyll was performed using the spectrophotometric method. 45 days after obtaining the results of the variables, a specific substrate mixture that showed the greatest growth in the Agaves is not observed. In the application of the 50% nutrient solution, they increased significantly with respect to the variables evaluated. The production of chlorophyll does not show significant effects due to the time in which the extraction was carried out.

**Key words:** Nutrient solution, chlorophyll, quantification.

## 4.1 INTRODUCCIÓN

En México, existen 251 especies de agaves, que son aprovechadas para la obtención de alimento, medicina, ornato, cercas vivas, bebidas fermentadas y bebidas destiladas como el mezcal (García-Mendoza, 2007). De tres a cinco meses antes de que las plantas adultas se colecten, los campesinos evitan que desarrollen el tallo floral y por consiguiente se evita la producción de semillas, vitales para su propagación, de tal manera que las poblaciones de esta especie han disminuido notablemente (Enríquez-del Valle, 2008). Existen diversos factores ambientales que afectan el crecimiento de las plantas como temperatura, disponibilidad de agua, CO<sub>2</sub>, radiación solar y abastecimientos de nutrimentos. Es necesario el aporte de macro y micronutrimentos. Cuando un suelo no proporciona alguno de estos nutrimentos en la cantidad que se requiere para la planta, se manifiesta con un crecimiento, desarrollo y producción deficiente (Martínez *et al.*, 2013). Por lo anterior, es necesario suministrarlos a través de un fertilizante. Los sustratos tienen una parte sólida que confiere la estructura física y el espacio poroso, que ayudan a tener una buena aireación adecuada, percolación, retención y disponibilidad del agua necesaria para las plantas (Cruz *et al.*, 2019). En el presente estudio se evaluó el crecimiento de plántulas de agaves en diferentes mezclas de sustratos mediante el suministro de solución nutritiva Steiner

## 4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

La investigación se realizó en la localidad de San Francisco Telixtlahuaca con coordenadas geográficas entre los 17°16' y 17°28' de latitud norte; los meridianos 96°50' y 97°02' de longitud oeste; altitud entre 1 400 y 2 500 m. El rango de precipitación es de 400 a 10 000 mm. El clima es Templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (46.74%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano (21.88%), semiseco semicálido (16.02%) y templado subhúmedo con lluvias en verano, menos húmedo (15.36%) (INEGI, 2022).

### 4.2.2 Material vegetal

Se utilizaron plántulas de tres especies, *Agave rhodacantha* Trel., *Agave potatorum* Zucc. y *Agave karwinskii* Zucc. De 135 días de edad después de la siembra.

### 4.2.3 Diseño experimental

El experimento se estableció según el diseño experimental completamente aleatorio (DCA), enmarcado en el diseño de tratamientos factorial 4x3x2, esto es, cuatro niveles del factor especie, tres niveles del factor sustrato y dos niveles del factor solución nutritiva. Lo anterior generó 24 tratamientos con 15 repeticiones, la unidad experimental fue una planta.

#### 4.2.4 Siembra de plántulas

Se colocaron las plántulas en bolsas de polietileno negras de 24\*24 cm con un volumen de 2.5 L conformando los tratamientos generados de acuerdo a la combinación de los niveles de los factores. Los riegos se realizaron una vez a la semana aplicando un 1.0 L en cada planta cada tres días. Los nutrimentos se aplicaron con la solución universal Steiner (1984) que se preparó con agua destilada. Los elementos que contiene la SN-100% ( $\text{mg L}^{-1}$ ): 166.42 N, 30.68 P, 276.44 K, 182.34 Ca, 49.09 Mg, 111.15 S, 1.25 Fe, 0.21 Mn, 0.025 Zn, 0.076 B, 0.005 Cu y 0.021 Mo. El riego se aplicó al 50%. Las plantas que no recibieron solución nutritiva se regaron solamente con agua corriente.

#### 4.2.5 Variables evaluadas

A los 292 y 337 días se obtuvieron datos de las siguientes variables:

Número de hojas: se contabilizaron el número de hojas por planta y por repetición. En la hoja más grande de la planta se midió longitud (cm), ancho (cm) y altura (cm) desde la base del sustrato hasta el ápice.

#### 4.2.6 Cuantificación de clorofila

De cada plántula de agave se obtuvo una hoja de la parte media de la roseta. Para la extracción y cuantificación de clorofila se utilizó el método espectrofotométrico descrito por Hiscox e Israelstam (1979). Consistió en cortar finamente la hoja de las diferentes especies de agaves, se pesaron 0.5 g de muestra en una balanza analítica digital, (Sartorius CP224 S, con precisión de 0.1 mg), se maceraron en un mortero adicionando 5 mL de acetona al 80% para

extraer todo el colorante de la muestra. Posteriormente se colocaron las muestra en una centrifuga (HSIANG TAI modelo 3102) a 2500 rpm por 10 minutos, ajustando cada tubo a 6 mL con acetona al 80%, esto para separar el sobrenadante que contiene los pigmentos. Se obtuvieron 0.5 mL del sobrenadante de cada uno de los extractos y se diluyeron en 4.5 mL de acetona al 80%. Con esta última dilución se obtuvo la absorbancia en un espectrofotómetro Ultravioleta-Visible (GBC Cintra 10) a longitudes de onda de 645 y 663 nm, se utilizó una muestra de acetona al 80% como blanco. Con estos datos se cuantificó el contenido de clorofila mediante la fórmula de Arnon (1949).

En todas las variables evaluadas se realizó un análisis de varianza y prueba de medias (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) de acuerdo al diseño experimental y de tratamientos utilizados. Para los análisis estadísticos se utilizó el software Statistical Analysis System (SAS Institute, 2004).

### **4.3 Resultados y discusión**

#### **4.3.1 Características de las plántulas**

Se evaluó el crecimiento de plántulas durante 45 días que crecieron en diferentes mezclas de sustratos y que recibieron solución nutritiva de Steiner (1984). Esto es, las plántulas de 135 días (después de haber sido sembradas) se empezaron a regar con solución nutritiva al 50%. Posteriormente, a los 292 días se colocaron en bolsas de polietileno negras de 24\*24 cm con un volumen de 2.5 L en las mezclas de los sustratos, y se tomaron las primeras lecturas de las variables. La

segunda lectura de datos se obtuvo a los 337 días, de ahí que hayan transcurrido los 45 días.

El análisis de varianza para *Agave rhodacantha* mostró efecto significativo en la altura de las plantas. La aplicación de solución nutritiva mostró efectos altamente significativos en el número, ancho y longitud de hojas. La interacción de ambos factores no mostró efecto significativo en las variables (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Significancia del análisis de varianza en *Agave rhodacantha* en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Número de hojas	Altura de las plántulas (cm)	Ancho de las hojas (cm)	Longitud de hojas (cm)
Sustrato	2	ns	*	ns	ns
Solución nutritiva	1	**	ns	**	**
Sustrato*Solución nutritiva	2	ns	ns	Ns	ns
Error	84				
Total	89				

ns = valores no significativos ( $p \leq 0.05$ ); \*valores con efectos significativos ( $p \leq 0.05$ ), \*\*valores con efectos altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ).

Los análisis de varianza para *Agave potatorum* (Cuadro 2) y *Agave karwinskii* (Cuadro 3) mostraron efectos altamente significativos en el número y ancho de hojas para el factor sustrato. La aplicación de la solución nutritiva mostró efectos altamente significativos en todas las variables. La interacción de ambos factores no mostró significancia.

**Cuadro 2.** Significancia del análisis de varianza en *Agave potatorum* en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Número de hojas	Altura de las plántulas (cm)	Ancho de las hojas (cm)	Longitud de hojas (cm)
Sustrato	2	**	ns	**	Ns
Solución nutritiva	1	**	*	**	**
Sustrato*Solución nutritiva	2	ns	ns	Ns	ns
Error	84				
Total	89				

ns = valores no significativos ( $p \leq 0.05$ ); \*valores con efectos significativos ( $p \leq 0.05$ ), \*\*valores con efectos altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ).

**Cuadro 3.** Significancia del análisis de varianza en *Agave Karwinskii* en función de los factores sustrato y solución nutritiva, a los 45 días después de aplicar los tratamientos.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Número de hojas	Altura de las plántulas (cm)	Ancho de las hojas (cm)	Longitud de hojas (cm)
Sustrato	2	**	ns	*	ns
Solución nutritiva	1	**	**	**	**
Sustrato*Solución nutritiva	2	ns	ns	ns	ns
Error	84				
Total	89				

ns = valores no significativos ( $p \leq 0.05$ ); \*valores con efectos significativos ( $p \leq 0.05$ ), \*\*valores con efectos altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ).

Existen diferentes fórmulas para diferentes tipos de cultivos acerca de la composición y concentración de las soluciones nutritivas (Sánchez y Escalante, 1989; FAO, 1990; Resh, 1992). Sin embargo, se deben de considerar las condiciones climáticas, la temperatura, la luz y la calidad de agua que se utilice. Se deben de tomar en cuenta las necesidades nutrimentales de la planta a la que se le aplicará, la edad o etapa fenológica de la misma y el tipo de sistema en el que se llevará acabo el cultivo; si se trata de un sistema cerrado en el cual existe

recirculación de la solución nutritiva o si es un sistema abierto pasa lo contrario. Todos estos factores son complicados para la aplicación de la solución nutritiva (FAO, 1990; Resh, 1992).

#### 4.3.2 Crecimiento de plántulas por factores

El efecto de la mezcla de los sustratos para las variables altura de la planta, número, ancho y longitud de la hoja no muestran tendencias hacia un nivel en específico, lo anterior puede deberse a que únicamente son observaciones durante 45 días, tiempo que en agave es demasiado lento el crecimiento para las especies en estudio. La aplicación de solución nutritiva ya es significativa en las variables evaluadas respecto de aquellas plántulas que no recibieron el suministro de nutrimentos (Cuadros 4, 5,6).

**Cuadro 4.** Crecimiento de *Agave rhodacantha* en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.

Fuente de Variación	Altura de las plántulas	Número de hojas	Ancho de las hojas	Longitud de hojas
Mezcla de sustratos	(cm)	Unidades	(cm)	(cm)
Turba de musgo y arena 2:3	2.15 a	2.06 a	13.46 a	7.58 a
Turba de musgo y perlita 1:1	1.78 b	1.96 a	11.30 a	6.90 a
Turba de musgo y arena 3:2	2.15 a	1.86 a	12.46 a	6.50 a
Solución nutritiva				
Solución nutritiva	1.98 a	2.11 a	13.78 a	7.76 a
Sin solución nutritiva	2.06 a	1.71 b	11.04 b	6.22 b

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 5.** Crecimiento de *Agave potatorum* en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.

Factor	Altura de las plántulas (cm)	Número de hojas Unidades	Ancho de las hojas (cm)	Longitud de hojas (cm)
Mezcla de sustratos				
Turba de musgo y arena 2:3	2.62 a	2.36 b	13.59 b	4.54 a
Turba de musgo y perlita 1:1	2.43 a	3.10 a	16.74 a	6.00 a
Turba de musgo y arena 3:2	2.22 a	2.60 b	11.62 b	6.31 a
Solución nutritiva				
Con solución nutritiva	2.67 a	2.84 a	15.71 a	6.59 a
Sin solución nutritiva	2.18 b	2.53 b	12.46 b	4.64 b

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 6.** Crecimiento de *Agave karwinskii* en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.

Fuente de Variación	Altura de las plántulas (cm)	Número de hojas Unidades	Ancho de las hojas (cm)	Longitud de hojas (cm)
Mezcla de sustratos				
Turba de musgo y arena 2:3	1.51 a	2.30 b	14.07 ab	4.99 a
Turba de musgo y perlita 1:1	1.85 a	2.93 a	15.23 a	4.86 a
Turba de musgo y arena 3:2	1.44 a	2.36 b	12.60 b	4.75 a
Solución nutritiva				
Con solución nutritiva	1.91 a	2.77 a	16.14 a	5.28
Sin solución nutritiva	1.29 b	2.28 b	11.79 b	4.44 b

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.3.3 Crecimiento de plántulas por tratamiento

En el *Agave rhodacantha* el sustrato que mostró mayores valores fue la turba de musgo y arena 3:2 con solución nutritiva en el número, ancho y longitud de hojas, en cuanto a la altura de plántulas el sustrato turba de musgo y arena 2:3 con solución nutritiva mostró valores más altos (Cuadro 7). En el *Agave potatorum* y *A. karwinskii* la turba de musgo y perlita 1:1 con solución nutritiva tuvo mayores valores en la altura de plántula, número, ancho y longitud de hojas (Cuadro 8, 9). Las propiedades físicas de sustratos, relacionados con el tamaño y distribución de partículas, la porosidad total determinan la capacidad de retención y movimiento del agua ya que son importantes para el crecimiento de las plantas (Adler, 1992; Terès *et al.*, 1995). Sin embargo, para la producción de plantas al momento de ser trasplantadas los requerimientos son más específicos, en la capacidad de aireación, retención (Bunt, 1988), se deben utilizar otros sustratos, o bien, modificar las mezclas de los que ya fueron utilizados. El peat moss, o turba acida, es uno de los principales sustratos mayormente empleados (Poincelot, 2004). La especie con mayor tamaño es el *Agave rhodacantha* dado que su porte es más grande en comparación con las otras especies (García-Mendoza, 2018; Biodiversidad mexicana, 2022).

**Cuadro 7.** Altura de plántula, número, ancho y longitud de hojas en *Agave rhodacantha* cultivadas en diferentes sustratos y que recibieron solución nutritiva durante 45 días.

<i>Agave rhodacantha</i> Trel. (mexicano)						
Número	Tratamientos		Número de hojas	45 días		
	Sustrato	Solución nutritiva		Altura de la planta (cm)	Ancho de las hojas (cm)	Longitud de las hojas (cm)
1	Turba de musgo y perlita 1:1	Con solución nutritiva	2.26 ab	1.56 b	13.76 a	8.18 a
2	Turba de musgo y perlita 1:1	Sin solución nutritiva	1.66 b	2.00 ab	8.84 b	5.62 b
3	Turba de musgo y arena 2:3	Con solución nutritiva	2.0 ab	2.23 a	13.36 a	6.63 ab
4	Turba de musgo y arena 2:3	Sin solución nutritiva	1.73 ab	2.06 ab	11.55 ab	6.36 ab
5	Turba de musgo y arena 3:2	Con solución nutritiva	2.40 a	2.16 a	14.20 a	8.48 a
6	Turba de musgo y arena 3:2	Sin solución nutritiva	1.73 ab	2.13 a	12.72 ab	6.68 ab

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 8.** Altura de plántula, número, ancho y longitud de hojas en *Agave potatorum* cultivadas en diferentes sustratos y que recibieron solución nutritiva durante 45 días.

<i>Agave potatorum</i> Zucc. (Tóbala)						
Número	Tratamientos		Número de hojas	45 días		
	Sustrato	Solución nutritiva		Altura de la planta (cm)	Ancho de las hojas (mm)	Longitud de las hojas (cm)
1	Turba de musgo y perlita 1:1	Con solución nutritiva	3.33 a	2.92 a	19.19 a	7.22 a
2	Turba de musgo y perlita 1:1	Sin solución nutritiva	2.86 ab	1.94 a	14.30	4.78 a
3	Turba de musgo y arena 2:3	Con solución nutritiva	2.33 b	2.20 a	12.75	4.78 a
4	Turba de musgo y arena 2:3	Sin solución nutritiva	2.40 b	2.24 a	11.10 c	4.20 a
5	Arena y turba de musgo 3:2	Con solución nutritiva	2.86 ab	2.89 a	15.18 b	7.69 a
6	Arena y turba de musgo 3:2	Sin solución nutritiva	2.33 b	2.35 a	12.00 bc	4.92 a

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 9.** Altura de plántula, número, ancho y longitud de hojas en *Agave karwinskii* cultivadas en diferentes sustratos y que recibieron solución nutritiva durante 45 días.

<i>Agave karwinskii</i> Zucc. (Cirial)						
Número	Tratamientos		Número de hojas	45 días		
	Sustrato	Solución nutritiva		Altura de la planta (cm)	Ancho de las hojas (mm)	Longitud de las hojas (cm)
1	Turba de musgo y perlita 1:1	Con solución nutritiva	3.33 a	2.20 a	17.12 a	5.44 a
2	Turba de musgo y perlita 1:1	Sin solución nutritiva	2.53 b	1.50 ab	13.33 abc	4.27 a
3	Turba de musgo y arena 2:3	Con solución nutritiva	2.40 b	1.82 ab	15.16 ab	5.16 a
4	Turba de musgo y arena 2:3	Sin solución nutritiva	2.20 b	1.20 b	10.04 c	4.85 a
5	Arena y turba de musgo 3:2	Con solución nutritiva	2.60 b	1.72 ab	16.14 a	5.26 a
6	Arena y turba de musgo 3:2	Sin solución nutritiva	2.13 b	1.16 b	12 c	4.25 a

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.3.4 Cuantificación de clorofila

El análisis de varianza para *Agave rhodacantha* mostró efectos altamente significativos en la clorofila a para el factor sustrato interacción solución nutritiva. En la clorofila a mostro efecto significativo en el factor sustrato interacción solución nutritiva. En el factor sustrato y solución nutritiva no mostró efectos significativos en las variables (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Significancia del análisis de varianza en *Agave rhodacantha* en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 74 días después de aplicar los tratamientos.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
Sustrato	2	ns	ns	ns
Solución nutritiva	1	ns	ns	ns
Sustrato*Solución nutritiva	2	**	ns	*
Error	6			
Total	11			

ns = valores no significativos ( $p \leq 0.05$ ); \*valores con efectos significativos ( $p \leq 0.05$ ), \*\*valores con efectos altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ).

El análisis de varianza para *Agave potatorum* mostró efectos significativos en la clorofila total para el factor solución nutritiva. En el sustrato, solución nutritiva y sustrato interacción solución nutritiva no mostró efectos significativos en las variables (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Significancia del análisis de varianza en *Agave potatorum* en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 74 días después de aplicar los tratamientos.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
Sustrato	2	ns	ns	ns
Solución nutritiva	1	ns	ns	*
Sustrato*Solución nutritiva	2	ns	ns	ns
Error	6			
Total	11			

ns = valores no significativos ( $p \leq 0.05$ ); \*valores con efectos significativos ( $p \leq 0.05$ ), \*\*valores con efectos altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ).

El análisis de varianza para *Agave karwinskii* no mostró efectos significativos en las variables del factor sustrato. En la solución nutritiva en la clorofila a mostró efectos altamente significativos en el factor solución nutritiva. En el sustrato interacción solución nutritiva no mostró efectos significativos en las variables (Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Significancia del análisis de varianza en *Agave karwinskii* en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 45 días después de aplicar los tratamientos.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
Sustrato	2	ns	ns	ns
Solución nutritiva	1	**	ns	*
Sustrato*Solución nutritiva	2	ns	ns	ns
Error	6			
Total	11			

ns = valores no significativos ( $p \leq 0.05$ ); \*valores con efectos significativos ( $p \leq 0.05$ ), \*\*valores con efectos altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ).

#### 4.3.5 Cuantificación de clorofila por factores

El efecto de la mezcla de los sustratos para las variables clorofila a, b y total no se muestran efectos significativos en las diferentes especies. Al no aplicarles solución nutritiva en el *Agave karwinskii* mostro efectos significativos en la clorofila a y total. La aplicación de solución nutritiva aun no me muestra efectos significativos en las diferentes clorofilas (Cuadros 13, 14,15).

**Cuadro 13.** Cuantificación de clorofila a, b y total en *Agave rhodacantha* en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 74 días después de aplicar los tratamientos.

Factor	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
Mezcla de sustratos	( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
Turba de musgo y arena 2:3	1.62 ab	2.18 a	3.48 a
Turba de musgo y perlita 1:1	1.88 a	1.40 a	3.28 a
Turba de musgo y arena 3:2	1.30 b	1.80 a	3.42 a
Solución nutritiva			
Con solución nutritiva	1.62 a	1.85 a	3.55 a
Sin solución nutritiva	1.58 a	1.73 a	3.44 a

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 14.** Cuantificación de clorofila a, b y total en *Agave potatorum* en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 74 días después de aplicar los tratamientos.

Factor	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
Mezcla de sustratos	( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
Turba de musgo y arena 2:3	1.47 a	1.47 a	3.17 a
Turba de musgo y perlita 1:1	1.48 a	1.49 a	2.98 a
Turba de musgo y arena 3:2	1.59 a	1.58 a	2.94 a
Solución nutritiva			
Con solución nutritiva	1.65 a	1.69 a	2.72 a
Sin solución nutritiva	1.37 a	1.34 a	3.34 a

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 15.** Cuantificación de clorofila a, b y total en *Agave karwinskii* en función de los factores sustrato y solución nutritiva a los 74 días después de aplicar los tratamientos.

Factor	Clorofila a ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Clorofila b ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Clorofila total ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
Mezcla de sustratos			
Turba de musgo y arena 2:3	1.70 a	1.63 a	2.95 a
Turba de musgo y perlita 1:1	1.41 a	1.49 a	2.91 a
Turba de musgo y arena 3:2	1.31 a	1.43 a	3.14 a
Solución nutritiva			
Con solución nutritiva	1.71 a	1.69 a	3.42 a
Sin solución nutritiva	1.22 b	1.35 a	2.58 b

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.3.6 Cuantificación de clorofila a, b y total por tratamiento

En el *Agave rhodacantha* el sustrato que mostró mayores valores fue la turba de musgo y perlita 1:1 con solución nutritiva en la clorofila a y total, el sustrato arena turba de 3:2 con solución nutritiva mostro valores altos en la clorofila b (Cuadro 16). En el *Agave potatorum* la arena y turba de musgo 3:2 sin solución nutritiva mostró valores altos en la clorofila a, el sustrato turba de musgo y perlita 1:1 con solución nutritiva obtuvo valores altos en la clorofila b y total (Cuadro 17). En el *Agave karwinskii* la turba de musgo arena 2:3 con solución nutritiva mostró valores altos en la clorofila a, la mezcla de sustrato turba de musgo y perlita 1:1 con solución nutritiva mostró valores altos en la clorofila b y total (cuadro 18).

**Cuadro 16.** Clorofila a, b y totales en tejidos foliares de plantas de *Agave rhodacantha* que recibieron fertilización con solución nutritiva Steiner al 50% a los 74 días.

Tratamiento	Especie	Sustrato	Solución nutritiva	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
1	<i>A. rhodacantha</i>	Turba de musgo y perlita 1:1	Con solución nutritiva	2.44 a	1.66 a	4.10 a
2	<i>A. rhodacantha</i>	Turba de musgo y perlita 1:1	Sin solución nutritiva	1.33 b	1.13 a	2.47 a
3	<i>A. rhodacantha</i>	Turba de musgo y arena 2:3	Con solución nutritiva	1.22 b	1.54 a	2.76 a
4	<i>A. rhodacantha</i>	Turba de musgo y arena 2:3	Sin solución nutritiva	2.01 ab	2.06 a	4.07 a
5	<i>A. rhodacantha</i>	Arena y turba de musgo 3:2	Con solución nutritiva	1.19 b	2.00 a	3.19 a
6	<i>A. rhodacantha</i>	Arena y turba de musgo 3:2	Con solución nutritiva	1.41 ab	2.36 a	3.78 a

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 17.** Clorofila a, b y totales en tejidos foliares de plantas de *Agave potatorum* que recibieron fertilización con solución nutritiva Steiner al 50% a los 74 días.

Tratamiento	Especie	Sustrato	Solución nutritiva	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
1	<i>A. potatorum</i>	Turba de musgo y perlita 1:1	Con solución nutritiva	1.66 a	1.88 a	3.54 a
2	<i>A. potatorum</i>	Turba de musgo y perlita 1:2	Sin solución nutritiva	1.30 a	1.10 a	2.41 a
3	<i>A. potatorum</i>	Turba de musgo y arena 2:3	Con solución nutritiva	1.60 a	1.67 a	3.27 a
4	<i>A. potatorum</i>	Turba de musgo y arena 2:4	Con solución nutritiva	1.58 a	1.48 a	3.06 a
5	<i>A. potatorum</i>	Arena y turba de musgo 3:2	Sin solución nutritiva	1.69 a	1.50 a	3.20 a
6	<i>A. potatorum</i>	Arena y turba de musgo 3:3	Con solución nutritiva	1.24 a	1.43 a	2.67 a

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 18.** Clorofila a, b y totales en tejidos foliares de plantas de *Agave karwinskii* que recibieron fertilización con solución nutritiva Steiner al 50% a los 74 días.

Tratamiento	Especie	Sustrato	Solución nutritiva	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
1	<i>A.karwinskii</i>	Turba de musgo y perlita 1:1	Sin solución nutritiva	1.68 ab	1.84 a	3.52 a
2	<i>A.karwinskii</i>	Turba de musgo y perlita 1:2	Con solución nutritiva	1.15 ab	1.69 a	2.29 a
3	<i>A.karwinskii</i>	Turba de musgo y arena 2:3	Sin solución nutritiva	1.91 a	1.52 a	3.44 a
4	<i>A.karwinskii</i>	Turba de musgo y arena 2:4	Con solución nutritiva	1.49 ab	1.34 a	2.83 a
5	<i>A.karwinskii</i>	Arena y turba de musgo 3:2	Con solución nutritiva	1.60 ab	1.69 a	3.30 a
6	<i>A.karwinskii</i>	Arena y turba de musgo 3:3	Sin solución nutritiva	1.02 b	1.58 a	2.60 a

Valores con la misma letra dentro de cada columna no son diferentes significativamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

El contenido de la clorofila en las hojas es un parámetro importante para evaluar el estado fisiológico de las plantas. Todas las hojas de color verde presentan mayor volumen de absorción en el rango de 400-700 nm, donde sucede la transmisión de electrones entre clorofilas y carotenoides (Zhang *et al.*, 2007). Carter y Spiering (2002) mencionan que las diferencias en el contenido de clorofilas en las hojas puede ser una relación del vigor de la planta y de la capacidad fotosintética, ya que depende de la cantidad del contenido de pigmentos.

La clorofila a y clorofila b reducen con la senescencia de las hojas y en condiciones de baja disponibilidad de luz (Lei *et al.*, 1996). El contenido de clorofila en las hojas es un parámetro confiable de la actividad fotosintética, el nivel de estrés y del estado nutricional de la planta (Wu *et al.*, 2008).

#### **4.4 Conclusiones**

A los 45 días de aplicados los tratamientos no se observaron tendencias para una mezcla de sustratos que mostrará el mayor crecimiento de las plántulas de Agaves. Así mismo, a los 74 días no se observaron diferencias significativas en la obtención de clorofilas a, b y total.

Se observó que la aplicación de solución nutritiva incremento significativamente el crecimiento en altura de la plántula, número, ancho y longitud de hojas. Aunque la producción de clorofilas fue mayor en las plántulas que recibieron solución nutritiva, estos valores no fueron significativos respecto de aquellas que no recibieron los nutrimentos.

El tiempo de 45 días para observar el crecimiento de las plántulas o los 74 días para observar la producción de clorofilas, aún es muy poco el tiempo considerando el crecimiento lento que se considera en los agaves.

#### 4.5 LITERATURA CITADA

- Arnon, D. I. 1949. Copper Enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *beta vulgaris*. Plant Physiology. 24:1-15.
- Bunt, A.C. Media Mixes for Container Grown Plants. Unwin Hyman. London. Great Britain. 332 p.
- Carter, A. G., B. A. Spiering. 2002. Optical Properties of intact leaves forestimating Chlorophyll Concentration. Journal of Enviroment Quality. 31 (5): 142-1432. 10.2134/jeq2002.1424.
- Calderón Z., G., J. Rodríguez A., A. E. Becerril R., M. Livera M., y M. T. Colinas L. 1997. Fertilización foliar nitrogenada en la fotosíntesis fotosíntesis y el desarrollo de durazno en producción forzada. Agrociencia 31: 291-296.
- Cruz-Crespo, E., Á. Can-Chulim, J. Pineda-Pineda, D. Moreno- Velázquez, G. Aguilar-Benítez, y J. D. García-Paredes. 2019. Relación entre las propiedades físicas de mezclas de lombri compost con tezontle, piedra pómez y cascarilla de arroz. Agrociencia 53: 1-12. <https://agrocieniacolpos.mx/index.php/agrocieniacolpos/article/view/1746>

- Enríquez del Valle, J. R. 2008. La propagación y crecimiento de Agaves. Fundación Produce Oaxaca A. C. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. México. 46 p.
- FAO. 1990. Soilless culture for horticultural crop production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los agaves de México. Ciencias. 87:14-23.
- García-Mendoza. 2018. Actualización de la información de las especies y subespecies de magueyes de Oaxaca, con énfasis en las especies mezcaleras. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. NE012. Ciudad de México. URL:<http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfNE012.pdf>
- Hiscox, J. D., Israelstam, G. F. 1979. A method for the extraction of *chlorophyll* from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany 57: 1332-1334. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1996.tb00452.x>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (Consultado 02-03-2022). Disponible en: [inegi.org.mx/temas/climatología/](http://inegi.org.mx/temas/climatología/)
- Lei, T.T., Tabuchi, R., Kitao, M. y T. Koike. 1996. Functional relationship between chlorophyll content and leaf reflectance, and light-capturing efficiency of Japanese forest species. Physiologia Plantarum. 96 (3): 411-418.

- Martínez-Ramírez, S., A. Trinidad-Santos, G. Bautista-Sánchez y E. C. Pedro-Santos. 2013. Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36 (4):387-393.
- Poincelo, R. P. 2004. *Sustainable Horticulture*. Ed. Prentice Hall. New Jersey. USA. 870 p.
- Resh, H.M. 1992. *Cultivos hidropónicos*. 3a ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Sánchez del C., F. y E. Escalante R. 1989. *Hidroponía: Un sistema de producción de plantas*. 3a ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- SAS (Statistical Analysis System). 2004. *User's guide*. SAS/ETS® 9.1. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. s/p.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *International Society For Soilless Culture (ISOSC). Sixth International Congress on Soilless Culture*. Lunteren. p. 633-650.
- Terés, V., Arrieta, V., Rozas, M. 1995. A method for evaluation of fair volume in substrates. *Acta Horticulturae* 401:41-48.  
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.401.3>
- Wu, C., Z. Niu, Tang, Q y W. Wang. 2008. Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. *Agricultural and forest meteorology*. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.03.005>
- Zhang, Y., J.M.Chen, J.M. y S.C. Thomas. 2007. Retrieving seasonal variation in chlorophyll content of overstory and understory sugar maple leaves from

leaf-level hyperspectral data. *Can. J. Remote Sensing*. 33(5):406-415.  
10.5589/m07-037

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES GENERALES**

Los porcentajes de emergencia de las semillas de agave fueron diferentes, siendo el *Agave potatorum* quien mostró significativamente el mayor porcentaje respecto de las otras especies (*A. rhodacantha*, *A. marmorata* y *A. karwinskii*). Las semillas de *A. rhodacantha* fueron significativamente de mayores dimensiones que las otras especies, inclusive fueron 2.7 veces en promedio más grandes que las de *A. marmorata*, debido a que la planta de *A. rhodactantha* es físicamente mucho más grande que las otras especies. La mezcla de sustrato de turba de musgo y arena proporción 3:2 permitió obtener significativamente el mayor porcentaje de emergencia de las plántulas de Agave. En cuanto a la calidad de las semillas, las semillas negras son en teoría fértiles, y se corrobora cuando aproximadamente en el periodo de 60 minutos, estas se sumergen en el agua. Las semillas no negras (marrón y amarillo rojizo, de acuerdo con la carta munsell) son infértiles de acuerdo a los resultados observados en todas las especies de Agaves estudiadas.

En promedio un kilogramo tiene 197 000 semillas de *A. potatorum*, 101 500 de *A. rhodacanta*, 257 500 de *A. karwinskii* y 248 500 de *A. marmorata*.

Durante 45 días que las plántulas de Agave estuvieron recibiendo la solución universal de Steiner, se observó que estas plantas significativamente mostraron mayor altura de plántula, número de hojas y longitud y ancho de las hojas, esto es, mostraron mayor vigorosidad. Así mismo la producción de clorofilas “a y b” fueron mayores en plantas que recibieron solución nutritiva. La mezcla del sustrato turba de musgo y arena en proporción 3:2 permitió obtener significativamente mayor crecimiento de las plántulas. Respecto a la producción de clorofila, no se observó un sustrato determinante para su obtención. El tiempo en que se observaron estas últimas variables no fueron suficientes para observar las diferencias de acuerdo a los tratamientos aplicados, dado que los agaves, genéticamente son de lento crecimiento.

## LITERATURA GENERAL CITADA

- Abad B., M., P. Noguera, y B. Carrión. 2005. Sustratos en los cultivos sin suelo y fertirrigación. In: Fertirrigación: Cultivos Hortícolas y Ornamentales (Ed. Cadahía C). Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 299-352.
- Aguirre-Dugua, C. Eguiarte, L, E. Carillo-Galván, G. 2017. Los agaves y las practicas mesoamericanas de aprovechamiento manejo y domesticación. En Casas, A. Torres-Guevara, J, Parra-Rondinel, F. (Eds.) Domesticación en el Continente Americano. UNAM-UNALM. pp. 273-308.
- Andrade J.L. y Nobel PS. 1997. Microhabitats and water relations of epiphytic cacti and ferns in a lowland neotropical forest. *Biotropica* 29:261-270.
- Anicua-Sánchez. R., M.C. Gutiérrez-Castorena, C., P. Sánchez-García, C. Ortiz-Solorio, V. H. Volke-Halle y J. E. Rubiños-panta. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura Técnica en México*.35 (2): 147-156.

- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. Mundi Prensa, Madrid. ISBN 84-7114-481-6.
- APHA.1998 American Public Health Association, American Waterworks, Association
- Arizaga-Santiago., E.Ezcurra. 2002. Propagation Mechanism in *Agave macroacantha* (*Agavaceae*), a Tropical Arid-Land Succulent Rosette. *American Journal of Botany*. 89(4): 632-641. 10.3732/ajb.89.4.632
- Bernal C., Y., C. E. Hernández R., C. Ríos A y L. Torres C. 2019. Combinations and proportions of substrates in the production of Acerola plantlets by cuttings. *Centro Agric.* 46: 30-37.
- Banderas-Tarabay. A., R. Gonzales-Villela, G. Lanza-Espino. 1991. Limnological aspects of a high-mountain lake in México. *Hydrobiologia*. 224 (1):1-10. 10.1007/bf00006360
- Bewley, J.D. y M. Black. 1994. *Seeds: physiology of development and germination*. Plenum Press, New York. 445 pp.
- Biodiversidad mexicana. (Consultado: 05/03/2022). Disponible en: [https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N\\_agaves](https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_agaves).
- Bobich E.G. y North G.B. 2009. Structural implications of succulence: Architecture, anatomy, and mechanics of photosynthetic stem succulents, pachycauls, and leaf succulents. En: De la Barrera E. y Smith W.K. Eds. *Perspectives in Biophysical Plant Ecophysiology, A Tribute to Park S.*

*Nobel*, pp. 3-38, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Enseñanza para Extranjeros, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, México, D.F.

Colunga-GarcíaMarín P, I. Torres-García, A. Casas, C. J. Figueredo-Urbina, S. Rangel-Landa, A. Delgado-Lemus, O. Vargas, D. Cabrera-Toledo, L. Aguirre-Dugua, L. Eguiarte, D. Zizumbo-Villarreal y G. Carrillo-Galván G. 2017. Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. In: Casas A, J. Torres-Guevara y F. Parra (eds.). Domesticación en el Continente Americano. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp. 273-308.

CONABIO, 2006. Mezcales y diversidad, 2a ed. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. Segunda reimpresión, 2010.

Consejo Regulador del Mezcal (CRM), 2018. Resumen de informe estadístico 2018. El Mezcal num 2.

Consejo Regulador del Mezcal. 2018. Informe estadístico 2018. (Consultado: 10/03/2022). Disponible en: [http://www.crm.org.mx/PDF/INF\\_ACTIVIDADES/INFORME2018.pdf](http://www.crm.org.mx/PDF/INF_ACTIVIDADES/INFORME2018.pdf).

Cruz-crespo, E., A. Can-Chulim, J. Pineda-Pineda, D. Moreno-Velásquez, G. Aguilar- Benítez y J. Garcia-Paredes.2019. Relación entre las propiedades físicas de mezclas de lombricompost con tezontle, piedra pómez y cascarilla de arroz. *Agrociencia*. 53: 1-12.

- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*. 31(1):74-85.
- Eguiarte, L.E., Silvia, A., Souza, V. 2000. Biología evolutiva de la familia Agavaceae: biología reproductiva, genética de poblaciones y filogenia. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 66: 131-150. DOI: 10.17129/botsoci.1618
- Falcón-Oconor, E., M. Cobas-López, M. Bonilla-Vichot, O. Rodríguez-Leyva y C. V. Romero-Castillo. 2019. Influence of substrate on the quality of container-grown *Swietenia mahagoni* (L.) Jacq. *Plant. Revista Cubana de Ciencias Forestales*. 7 (3):283-296.
- FAO, 1985. Procesamiento de semillas de cereales y leguminosas de grano. Directrices técnicas. Italia, Roma. p. 5,7
- García, Mendoza. A. 2012, "México, país de magueyes", *La Jornada*, 18 de febrero de 2012, p. 4, Suplemento *La Jornada del Campo*.
- Farram. J.M., Pammenter. N.W y Berjak. P. 1993. Seed development in relation to desiccation tolerance: A comparison between desiccation-tolerant types. *Seed Science Research*. 3(1): 1-13. doi:10.1017/s096025850000151
- Ferguson, J. 1995. An introduction to seed vigour testing. In: *Seed Vigour Testing Seminar*. Copenhagen. 1-9.
- Floriano-Pagel. E. 2004. Armazenamento de sementes florestais. ANORGS, Santa Rosa. 10 p.

- Fonseca-López, S.C y Freire, H.B. 2003. Semillas recalcitrantes: Problemas en pos-cosecha. *Bragantia*. 62(2): 297-303.
- García-Brejón, F. L., J.R. Caselles, M.P. Santamirna-Siurana.2006.Introducción al funcionamiento de las plantas. Universidad Politécnica de Valencia. España. 184.
- García-Herrera, E. J., Méndez-Gallegos, S. J y Talavera-Magaña, D. 2010. El Género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia Socioeconómica y Agroecológica. VIII Simposium-Taller Nacional y 1er Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal". PP. 110-129.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los agaves de México. *Ciencias*, 87:14-23.  
<https://www.redalyc.org/pdf/644/64408704.pdf>
- García-Mendoza, A. J., Franco Martínez, I. S., y Sandoval Gutiérrez, D. 2019. Cuatro especies nuevas de *Agave* (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta botánica mexicana*, (126).
- García-Mendoza, A. J.2002 México, país de magueyes. La jornada del campo No. 23, p. 4
- García-Mendoza, A., Ordoñez-Díaz, M.J. Hermenegilda, Salas-Briones y M. Ángel.2004. Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología. UNAM: Fondo Oaxaqueño para la conservación de la naturaleza. World Wildlife Fund. México. 159-169.

- García-Mendoza, A.J., 2010. revisión taxonómica del complejo agave *potatorum* zucc. (Agavaceae): nuevos taxa y neotipificación. *Acta Botánica Mexicana*. 91:pp. 71-93. URL: <http://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n91/n91a8.pdf>
- Gentil-Oliveira., F. Daniel. 2001. Conservação de sementes do cafeeiro: resultados discordantes ou complementares?. *Bragantia*. 60(3).149-154.
- Gentry, H. S.1982. Agaves of Continental North America. Arizona USA, University of Arizona. 670 p.
- Gregor., Marsálek. M. 2004. Freshwater Phytoplankton Quantification by Chlorophyll a: a Comparative Study of *in vitro*, *in vivo* and *in situ* Methods. *Water Research*.38:517-522. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.033>.
- Gutiérrez-Castorena. M. C., J. Hernández-Escobar, C.A. Ortiz-Solorio, R. Anicua-Sánchez, M.E. Hernández-Lara. 2011. Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuestas en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 17(3): 183-196.
- Hoekstra, F., A. Haigh, F. Tettero y T. van Roekel. 1994. Changes in soluble sugars in relation to desiccation tolerance in cauliflower seeds. *Seed Sci. Res.* 4: 143-147.
- Huang, B. y Nobel P. S. 1992. Hydraulic conductivity and anatomy for lateral roots of *Agave deserti* during root growth and drought-induced abscission. *Journal of Experimental Botany* 43:1441-1449.

- ISTA (International Seed Testing Association) .2016. International Rules for Seed Testing. Seed Sci. Technol. URL: <https://www.seedtest.org/en/publications/international-rules-seed-testing-1168.html>
- Jiménez-Valdés, M., Godínez-Alvarez, H., Caballero., Lira, R. 2010. Population Dynamics of *Agave marmorata* Roehl. under Two Contrasting Management Systems in Central México. *Economic Botany*. 64: 149-160. <https://doi.org/10.1007/s12231-010-9117-0>
- Kaufmann, M.R., S. Linder. 1996. Tree Physiology research in a changing world. *Tree Physiology*. 16:1-4. [10.1093/treephys/16.1-2.1](https://doi.org/10.1093/treephys/16.1-2.1). DOI:10.1093/treephys/16.1-2.1
- Lüttge U. 2010. Ability of crassulacean acid metabolism plants to overcome interacting stresses in tropical environments. *AoB PLANTS*. DOI:10.1093/aobpla/plq005
- Magnitskiy, S.V., Plaza, G.A. 2007. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana*, 96-103. URL: <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n1/v25n1a11.pdf>
- Manrique, Esteban .2003. "Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis." *Ecosistemas*, Vol. XII, núm.1, pp.1-11
- Marschner, H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich. Fla. USA. 543 p.

- Mascarini L., G. Lorenzo, H. Svartz, S. Pesenti, S. Amado. 2012. Tamaño del contenedor y tipo de sustrato afectan la eficiencia en el uso del agua en *Gerbera jamesonii* para flor cortada. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*. 18: 71-77.
- Moreno. M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas 3<sup>ra</sup> .Ed. UNAM. México, D. F.398 p.
- Nkang, A. 2002. Carbohydrate composition during seed development and germination in two sub-tropical rainforest tree species (*Erythrina caffra* and *Guilfoylia monostylis*). *J. Plant Physiol.* 159 (5), 473-483. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00516>
- Nobel S. P. 2011. Sabiduría del desierto, agaves y cactus: CO<sub>2</sub>, agua, cambio climático. 2a ed. Biblioteca Básica de Agricultura, Texcoco.
- Peña-Valdivia, C.B., A.B. Sánchez-Urdaneta, J.R. Aguirre-R, C. Trejo, E.Cárdenas y A. Villegas-M.2006.Temperature and mechanical scarification on see germination of 'maguey' (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Science and Tecnology*. 34(1):47-56. doi:10.15258/sst.2006.34.1.06
- Prieto Rodríguez, Antonio.2009. Memorias del 15° Verano de Investigación.
- Pukacka. S., Ratajczak E. 2006. Antioxidative response of ascorbate–glutathione pathway enzymes and metabolites to desiccation of recalcitrant *Acer saccharinum* seeds. *J. Plant Physiol.* 163: 1259-1266. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.10.003>

- Quintero C., M. F., C. A. González M., y J. M. Guzmán P. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. In: Flórez R., V. J. (ed). Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo. Universidad Nacional de Bogotá. Colombia. pp: 79-108.
- Quintero, M, F., J. M. Guzmán, J.L. Valenzuela. Evaluación de sustratos alternativos para miniclavel (*Dianthus Caryophyllus* L.). 2012. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 6:79-87.
- Ramales, O. C., Ortiz, B. G. 2009. El proceso de elaboración del mezcal y la importancia económica de la industria. Universidad Tecnológica de la Mixteca. (Consultado: 12/03/2022). Disponible en: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2006/mcro-mezcal2.htm>
- Ramírez-Tobías, H. M., Peña-Valdivia, C.B., Aguirre-R, J .R., Reyes-Agüero, A., Sánchez-Urdaneta, A.B., Valle-Guadarrama. S. 2011. Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance *Plant Species Biology*. <https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2011.00341.x>
- Ramón, M y Mendoza, C. 2002. Efecto del deterioro post-corte sobre la germinación de la semilla asexual de cinco variedades de caña de azúcar. Rev. Fac. Agron. 19(4): 264-272.
- Ramos-Sánchez, O.J., Reyes, R.G., Ramos, A.O. 2014. Desarrollo sustentable en Villa Sola de Vega, Oaxaca. Revista Mexicana de Agronegocios.34: 729-739. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14131514008.pdf>

Shafiqr-Rehiman. K., R.Rose, D.L. Haase y T.E. Sabin. 2000. Effects of shade on morphology, chlorophyll concentration and chlorophyll fluorescence of four Pacific Northwest conifer species. *New Forest.* 19:171-186. DOI:10.1023/a:1006645632023

Steiner, A.A.1984.The Universal Nutrient Solution. Sixth International Congress on Soilless Culture, Wageningen, 633-650.

Stoops G. 2018. Micromorphology as a tool in soil and regolith studies. 2a ed. Ghent University, Ghent, Belgium.12 p.

Vásquez-Díaz. E., García-Nava. R.J., Peña-Valdivia. C, B., Ramírez-Tobías. H, M., Morales-Ramos.V.2011.Tamaño de la semilla, emergencia y desarrollo de la plántula de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck).*Revista Fitotecnia Mexicana.* 34 (3), 167-173. URL: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802011000300007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802011000300007)

Vázquez-Pérez. N., J. Blancas, I. Torres-García, A. García-Mendoza, A. Casas, A. I. Moreno-Calles, B. Maldonado-Almanza y B. Rendón-Aguilar. 2020. Conocimiento y manejo tradicional de *Agave karwinskii* en el sur de México. *Botanical Sciences.* 98 (2):328-347. <https://doi.org/10.17129/botsci.2421>.

Villanueva-Castillo, D.M., Velasco-Velasco, V.A., De los Santos-Romero, R.B., Ruiz-Luna, J., Rodríguez-Ortiz, G. 2021. Variación morfométrica en semillas de agaves silvestres de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias*

*Agrícolas*.12

(1).

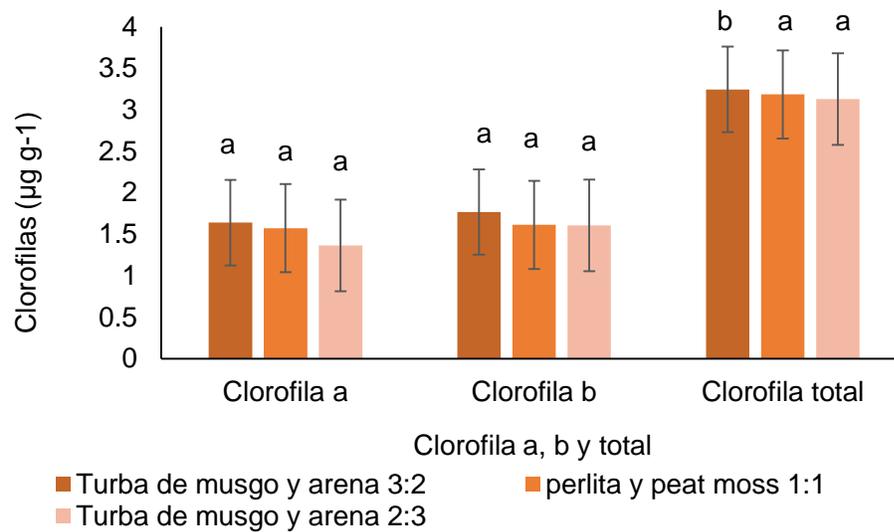
155-162.

DOI:

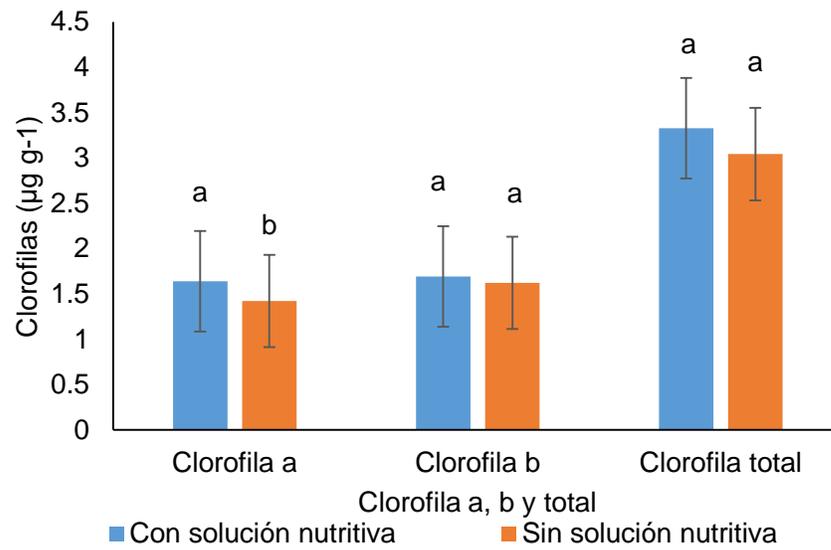
<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2426>

## CAPITULO VI

### ANEXOS



**Anexo 1.** Clorofilas a, b y totales a los 74 días de tratamiento en función de los sustratos. Barras con la misma letra dentro de cada tipo de clorofila no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).



**Anexo 2.** Clorofilas a, b y totales a los 74 días de tratamiento en función de la fertilización con solución nutritiva. Barras con la misma letra dentro de cada tipo de clorofila no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).